



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

GEOVANE GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS DE
TRÁFEGO CALCULADAS PELO HCM-2010 E PELO
MICROSSIMULADOR AIMSUN PARA UMA ÁREA DE
ESTUDO EM SANTA CATARINA**

**FLORIANÓPOLIS
2015**

Geovane Gomes

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS DE
TRÁFEGO CALCULADAS PELO HCM-2010 E PELO
MICROSSIMULADOR AIMSUN PARA UMA ÁREA DE
ESTUDO EM SANTA CATARINA**

Dissertação submetida ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Lenise
Grando Goldner.

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre
Hering Coelho.

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Gomes, Geovane

Comparativa das Características de Tráfego Calculadas Pelo HCM-2010 e pelo Microssimulador Aimsun para uma Área de Estudo em Santa Catarina / Geovane Gomes; orientadora, Lenise Grando Goldner; coorientador, Alexandre Hering Coelho – Florianópolis, SC, 2015

177 p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referência

1. Engenharia Civil. 2. Microssimulação de Tráfego. 3. Método HCM. 4. Comparação. I. Goldner, Lenise Grando II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Geovane Gomes

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS DE
TRÁFEGO CALCULADAS PELO HCM-2010 E O
MICROSSIMULADOR AIMSUN PARA UMA ÁREA DE
ESTUDOS EM SANTA CATARINA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 26 de Fevereiro de 2015.

Prof. Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto
Coordenador do PPGEC/UFSC

Prof^a. Dr^a. Lenise Grando Goldner
Orientadora - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Alexandre Hering Coelho
Coorientador - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Helena Beatriz Bettella Cybis
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof. Dr. Amir Mattar Valente
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof^a. Dr^a Liseane Padilha Thives
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

*Em especial a minha querida esposa
Soraia Maria Marques,
Sempre companheira e a quem dedico
todo o meu amor e gratidão.*

*A Gustavo Marques Gomes e Julia
Marques dos Santos.*

*A meus pais, Leonardo Marcello
Gomes e Edithe Cardoso Gomes, Pelo
dom da vida, o incentivo aos estudos e
princípios transmitidos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças, saúde e determinação para cursar Pós-graduação em Engenharia Civil nesta conceituada Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e concluir a presente Dissertação de Mestrado.

A minha esposa Soraia Maria Marques, por ter me compreendido em todos os momentos no desenvolvimento dessa dissertação.

Aos professores, Dra. Lenise Grando Goldner (orientadora) e Dr. Alexandre Hering Coelho (coorientador), pela paciência, companheirismo, sugestões, orientação competente e clareza proporcionados na condução dos estudos necessários a conclusão desta dissertação de Mestrado.

A minha prima Juliana Cardoso Coelho pelo apoio que concedeu quando vinha a Florianópolis, fazer os créditos do mestrado.

Ao engenheiro civil Alexandre Mosimann Silveira da empresa Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia por ter colaborado com as minhas idas à UFSC para desenvolvimento dessa dissertação.

Aos amigos e colegas, Felipe Zacchi Gómez, Eduardo Rauh Muller, ao Lucas do LABTRANS e Emanuel F. da Cunha.

Ao LABTRANS da UFSC, em especial ao Jorge, por ter cedido o espaço para trabalhar com o software AIMSUN.

Ao professor Dr. Werner Kraus Junior do DAS – CTC, pela ajuda no empréstimo da licença para uso do AIMSUN.

Aos demais professores, Dra. Helena Beatriz Bettella Cybis, Dr. Amir Mattar Valente e Dra. Liseane Padilha Thives, por aceitarem participar desta Comissão Examinadora.

*“Combati o bom combate, acabei
a carreira, guardei a fê”.*

(Apóstolo Paulo)

RESUMO

O método HCM é uma das metodologias mais empregadas para avaliação da capacidade e nível de serviço de rodovias rurais e urbanas. A utilização de microssimuladores de tráfego na engenharia é uma ferramenta moderna, que vem sendo cada vez mais utilizada, alvo de muitos estudos, que buscam o desenvolvimento de novos algoritmos para a simulação. Para fins de pesquisa acadêmica é importante avaliar essa ferramenta com os métodos tradicionais, como o método HCM, que propõem-se a calcular características de tráfego semelhantes, tais como densidade e velocidade, afim de avaliar as diferenças nos resultados. Esta pesquisa apresenta uma investigação acadêmica entre as características de tráfego calculadas pelo método HCM-2010 e pelo microssimulador AIMSUN para uma área de estudo em Santa Catarina. As características de tráfego avaliadas foram densidade, velocidade e fluxo em equivalentes em carros de passeio. Para garantir o mesmo volume tráfego como dado de entrada no método HCM-2010 e também no microssimulador AIMSUN, foi procedido à transformação das diferentes classes modais em unidades de carros de passeio por meio de meio de fatores de conversão, contidos em bibliografia específica, e posteriormente considerar no HCM-2010 a proporção de caminhões e ônibus (PT) igual à zero. No processo de validação da microssimulação realizou-se uma verificação do período de aquecimento e do tempo de reação ligado ao comportamento do motorista para melhorar os resultados do coeficiente de determinação (R^2). Na comparação das características de tráfego de densidade, velocidade e fluxo foram consideradas 3 (três) situações para análise, a primeira denominada de situação 1 considerou todos os segmentos identificados na área de estudo, a situação 2 excluiu os segmentos de sobreposição de rampas, e a situação 3 considerou apenas a sobreposição de rampas com a densidade da maior rampa na área de influência. Verificou-se que os melhores resultados de correlação entre as características de tráfego analisadas foram obtidos considerando a exclusão dos segmentos de sobreposição de rampas.

Palavras-chave: Microssimulação de Tráfego. Método HCM. Comparação.

ABSTRACT

The HCM method is one of the methodologies used to assess the capacity and level of service in rural and urban highways. The use of microsimuladores traffic engineering is a modern tool, which is being increasingly used, the subject of many studies aimed at the development of new algorithms for the simulation. For academic research purposes is important to evaluate this tool with traditional methods such as the HCM method, which propose to calculate similar traffic characteristics such as density and speed, to determine the differences in the results. This research presents an academic research between the traffic characteristics calculated using the HCM-2010 method and the AIMSUN microsimulador, for a study area in Santa Catarina. Traffic characteristics evaluated were density, speed and flow equivalent in passenger cars. To ensure the same volume traffic as input in HCM-2010 method and also in AIMSUN microsimulador, was done the transformation of the different modal classes in passenger car units by means of conversion factors contained in specific bibliographies , and then consider in the HCM-2010, the proportion of trucks and buses (PT) equal to zero. In microsimulation validation process done, a check of the heating period and the reaction time connected to driver behavior to improve the results of the coefficient of determination (R^2). When comparing the density of traffic characteristics, speed and flow were considered three (3) situations for analysis, the first called the situation one considered all the segments identified in the study area, the situation 2 excluded the ramps of overlapping segments, the situation only three considered the overlapping ramps to the density of greater slope in the area of influence. It was found that the best results of correlation between the analyzed traffic characteristics were obtained considering the exclusion of ramps overlapping segments.

Keywords: Microsimulation Traffic. HCM method. Comparison

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Greenshields.....	42
Figura 2: Evolução da relação fluxo e velocidade.....	45
Figura 3: Área de influência de entrelaçamento.....	48
Figura 4: Configuração e área de influência de rampas de entrada e saída.....	48
Figura 5: Metodologia de cálculo para <i>freeway</i>	51
Figura 6: Caracterização dos níveis de serviço em rodovias tipo <i>freeway</i>	53
Figura 7: Metodologia de cálculo para entrelaçamento.....	55
Figura 8: Metodologia de cálculo para rampas de entrada e saída.....	57
Figura 9: Cronologia dos estudos de microssimulação de tráfego.....	65
Figura 10: Fluxograma das etapas do estudo desenvolvido por Jolovic (2012).....	73
Figura 11: Áreas de entrelaçamento tipo A, B e C Kopulla (2002).....	76
Figura 12: Fluxograma do método da pesquisa.....	86
Figura 13: Localização da área de estudo.....	94
Figura 14: Layout da área de estudo, sentido Ilha – BR-101.....	96
Figura 15: Layout da área de estudo, sentido BR-101 – Ilha.....	97
Figura 16: Posto de Contagem próximo ao BIG/HAVAN (d411/d412).....	100
Figura 17: Posto de Contagem próximo a DIGITRO (d511/d512).....	101
Figura 18: Segmentação da área de estudo, sentido Ilha – BR – 101.....	114
Figura 19: Segmentação da área de estudo, sentido BR – 101 – Ilha.....	115
Figura 20: Exemplo de edição de uma interseção no AIMSUN.....	125
Figura 21: Exemplo de modelagem de seção no AIMSUN.....	126
Figura 22: Definição do centróide, acima caixa de edição com os atributos relacionados ao centróide.....	127
Figura 23: Segmento de entrelaçamento do km 1,605 ao km 1,108 no AIMSUN.....	128
Figura 24: Volume de tráfego nas seções de entrada, sentido: BR-101 – Ilha.....	130
Figura 25: Volume de tráfego de todos os movimentos nos nós, sentido: BR-101 – Ilha.....	130
Figura 26: Exemplo de demanda de tráfego para o sentido Ilha – BR-101.....	133
Figura 27: Pasta principal da caixa de edição sentido BR-101 – Ilha.....	134
Figura 28: Estrutura dos dados de saída, sentido Ilha – BR-101.....	148
Figura 29: Estrutura dos dados de saída, sentido BR-101 – Ilha.....	149

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: VD de Terça a Quinta-feira (Sentido: BR-101 – Ilha).....	104
Gráfico 2: VD de Terça a Quinta-feira (Sentido: Ilha – BR-101).....	104
Gráfico 3: Validação dos volumes em equivalente de unidade de carro de passeio, situação simulada x situação real (Sentido: Ilha – BR-101).....	142
Gráfico 4: Validação dos volumes em equivalente de unidade de carro de passeio, situação simulada x situação real (Sentido: BR-101 – Ilha).....	143
Gráfico 5: Validação da velocidade dos veículos, situação simulada x situação real (Sentido: Ilha – BR-101).....	145
Gráfico 6: Validação da velocidade dos veículos, situação simulada x situação real (Sentido: BR-101 – Ilha).....	146
Gráfico 7: Correlação de fluxo para situação 1.....	154
Gráfico 8: Correlação de densidade para situação 1.....	155
Gráfico 9: Correlação de velocidade para situação 1.....	155
Gráfico 10: Correlação de fluxo para situação 2.....	156
Gráfico 11: Correlação de densidade para situação 2.....	156
Gráfico 12: Correlação de velocidade para situação 2.....	157
Gráfico 13: Correlação de fluxo para situação 3.....	157
Gráfico 14: Correlação de densidade para situação 3.....	158
Gráfico 15: Correlação de velocidade para situação 3.....	158

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Densidade e LOS para segmento básico de <i>freeway</i>	52
Quadro 2: Densidade e LOS para segmento básico de entrelaçamento.....	56
Quadro 3: Densidade e LOS para segmento de rampas de entrada e saída.....	58
Quadro 4: Resultados obtidos no estudo de Jolovic (2012).....	75
Quadro 5: Resultados obtidos no estudo de Kopulla (2002).....	78
Quadro 6: Resultados de densidade e nível de serviço Bloomber et al. (2003).....	80
Quadro 7: Resultados de velocidade obtidos no estudo de Bloomber et al. (2003).....	81
Quadro 8: Classificação dos Veículos por Intervalos de Comprimento Classe de Veiculo.....	99
Quadro 9: VD para os contadores de referência (Sentido: BR-101 – Ilha).....	102
Quadro 10: VD para os contadores de referência (Sentido: Ilha – BR-101).....	103
Quadro 11: Volumes Médios diários de tráfego para o ano base 2014.....	106
Quadro 12: Fatores de equivalência para diferentes tipos de veículos.....	107
Quadro 13: Conversão dos volumes de tráfego em unidade de carro de passeio.....	109
Quadro 14: Divisão de segmentos no sentido Ilha (km 0,0) – BR-101 (km 5,427).....	111
Quadro 15: Divisão de segmentos no sentido BR-101 (km 5,262) – Ilha (km 0,0).....	112
Quadro 16: Parâmetros de entrada para o cálculo no HCM-2010, sentido: Ilha (km 0,0) – BR-101 (km 5,427), das 15hs00 as 16hs00 ..	120
Quadro 17: Parâmetros de entrada para o cálculo no HCM-2010, sentido: BR-101 (km 5,427) – Ilha (km 0,0), das 17hs00 as 18hs00 ..	121
Quadro 18: Resultados do método HCM-2010, sentido: Ilha (km 0,0) – BR-101 (km 5,427), das 15hs00 as 16hs00.....	122
Quadro 19: Resultados do método HCM-2010, sentido: BR-101 (km 5,427) – Ilha (km 0,0), das 17hs00 as 18hs00.....	123
Quadro 20: Dados utilizados para validação dos cenários no microsimulador.....	131
Quadro 21: Resultados da variação do tempo de reação, sentido: Ilha – BR-101.....	137
Quadro 22: Resultados da variação do tempo de reação, sentido: BR-101 – Ilha.....	138

Quadro 23: Resultados da variação do período de aquecimento , sentido: Ilha – BR-101.....	140
Quadro 24: Resultados da variação do período de aquecimento, sentido: BR-101 – Ilha.....	140
Quadro 25: Diferença entre os volumes dos detectores d2, d511 e d611 na validação.....	141
Quadro 26: Diferença entre os volumes dos detectores d412 e d512 na validação.....	142
Quadro 27: Diferença entre velocidade dos detectores d23, d73 e d511 na validação.....	144
Quadro 28: Diferença entre velocidade dos detectores d32, d39, d66, d72, d96 e d612.....	144
Quadro 29: Resultados de fluxo, velocidade e densidade no sentido: Ilha – BR-101.....	150
Quadro 30: Resultados de fluxo, velocidade e densidade no sentido: BR-101- Ilha.....	151
Quadro 31: Avaliação dos resultados de densidade (HCM x AIMSUN), sentido: Ilha – BR-101 (15hs00 as 16hs00).....	160
Quadro 32: Avaliação dos resultados de densidade (HCM x AIMSUN), sentido: BR-101 - Ilha (17hs00 as 18hs00).....	161
Quadro 33: Avaliação dos resultados de velocidade (HCM x AIMSUN), sentido: Ilha – BR-101 (15hs00 as 16hs00).....	162
Quadro 34: Avaliação dos resultados de velocidade (HCM x AIMSUN), sentido: BR-101 - Ilha (17hs00 as 18hs00).....	163
Quadro 35: Avaliação dos resultados de fluxo em equivalente de unidade de carro de passeio com a taxa de fluxo do microssimulador, sentido: Ilha – BR-101.....	164
Quadro 36: Avaliação dos resultados de fluxo em equivalente de unidade de carro de passeio com a taxa de fluxo do microssimulador, sentido: BR-101 – Ilha.....	165

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EVTEA	Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental
FHWA	Federal Highway Administration
TRB	Transportation Research Board
TSS	Transport Simulation Systems
HCM	Highway Capacity Manual
AIMSUN	Advanced Interactive Microscopic Simulador for Urban and Non-urban Networks
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres

LISTA DE SÍMBOLOS

Cp	Carros de passeio
Ls	Comprimento curto, à distância em pés entre o ponto final da barreira de sinalização
LB	Comprimento básico, à distância em pés entre pontos nas respectivas áreas de pintura a margem esquerda da faixa de tráfego da rampa e a margem direita da faixa de tráfego da <i>freeway</i> se encontram
D	Densidade
d	Distância percorrida
PHF	Fator Horário de Pico
i	Instante
LOS	<i>Level of Service</i>
n	Número de veículos observados
RMS	Valor eficaz
v	Taxa de Fluxo
t	Tempo necessário para percorrer a distância
t_i	Tempo “i” para os veículos percorrerem a seção
TR	Tempo de reação
V	Volume de tráfego
S	Velocidade
μt	Velocidade média temporal
μs	Velocidade média espacial
FFS	Velocidade de fluxo livre estimada

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	31
1.1	OBJETIVOS.....	33
1.1.1	Objetivo geral.....	33
1.1.2	Objetivo específico.....	33
1.2	JUSTIFICATIVA.....	33
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	35
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	37
2.1	TEORIA DO FLUXO DE TRÁFEGO.....	38
2.1.1	Características macroscópicas de tráfego.....	38
2.1.1.1	Fluxo de tráfego.....	39
2.1.1.2	Velocidade média.....	39
2.1.1.3	Densidade.....	41
2.1.2	Relação fundamental de tráfego.....	41
2.2	MANUAL DE CAPACIDADE DE SERVIÇO DE RODOVIAS.....	42
2.2.1	Definições de capacidade e nível de serviço em rodovias.....	42
2.2.1.1	Capacidade de rodovias.....	42
2.2.1.2	Níveis de serviço em rodovias.....	43
2.2.2	Evolução do manual de capacidade de rodovias.....	43
2.2.3	HCM-2010.....	45
2.2.3.1	Tipos de segmentos.....	46
2.2.3.2	Critérios para divisão de segmentos.....	47
2.2.3.3	Estudos relacionados adequação do HCM a realidade brasileira.....	49
2.2.3.4	Método de cálculo do HCM-2010.....	50
2.3	SIMULAÇÃO.....	58
2.3.1	Simulação de tráfego.....	59
2.3.1.1	Microsimulação de tráfego.....	60
2.3.1.2	Modelos de microsimulação de tráfego.....	64
2.4	CALIBRAÇÃO DOS MODELOS DE MICROSSIMULAÇÃO.....	69
2.5	COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO HCM E A MICROSSIMULAÇÃO.....	71
3.	MÉTODO.....	85
3.1	DETERMINAR A ÁREA DE ESTUDO.....	87
3.2	COLETAR OS DADOS.....	87
3.3	DEFINIR OS CENÁRIOS.....	87
3.4	VOLUME DE TRÁFEGO EQUIVALENTE.....	88
3.5	UTILIZAR O MÉTODO HCM-2010.....	88

3.5.1	Modelar a demanda de tráfego.....	88
3.5.2	Modelar da infraestrutura.....	88
3.5.3	Cálculo HCM-2010.....	89
3.6	UTILIZAR O MICROSSIMULADOR DE TRÁFEGO.....	89
3.6.1	Modelar a demanda de tráfego.....	89
3.6.1.1	Atribuir uma demanda de tráfego.....	89
3.6.2	Modelar a infraestrutura.....	90
3.6.3	Executar simulação.....	90
3.6.3.1	Ajustes.....	91
3.6.4	Validar os cenários.....	91
3.6.5	Processar arquivo de saída.....	92
3.7	ANÁLISAR AS CARACTERÍSTICAS CALCULADAS.....	92
3.8	RESULTADOS.....	92
4.	APLICAÇÃO DO MÉTODO NA ÁREA DE ESTUDO.....	93
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	93
4.2	DADOS DE CAMPO.....	98
4.2.1	Contagem de Tráfego.....	98
4.2.1.1	Localização dos postos, dados da contagem e velocidade.....	98
4.2.1.2	Projeção para o ano base.....	99
4.2.1.3	Definição da hora de maior volume de tráfego.....	100
4.3	VOLUME DE TRÁFEGO EQUIVALENTE.....	107
4.4	ESTUDO DE CAPACIDADE E NÍVEL DE SERVIÇO: MÉTODO HCM-2010.....	110
4.4.1	Modelagem da infraestrutura.....	110
4.4.1.1	Divisão de segmentos.....	110
4.4.1.2	Geometria.....	116
4.4.1.3	Número de rampas de entrada e saída.....	116
4.4.1.4	Greide.....	117
4.4.2	Modelagem da demanda.....	117
4.4.2.1	Volume de tráfego.....	117
4.4.2.2	Velocidade.....	117
4.4.2.3	Fator de Hora de Pico (FHP).....	118
4.4.2.4	Fator de ajustamento de população motorizada.....	118
4.4.3	Cálculos do HCM-2010.....	118
4.5	MICROSSIMULADOR DE TRÁFEGO AIMSUN.....	124
4.5.1	Modelagem da infraestrutura.....	124
4.5.1.1	Segmentação.....	128
4.5.2	Modelagem da demanda.....	129
4.5.2.1	Volume de tráfego.....	129
4.5.2.2	Estrutura dos dados de entrada de demanda.....	129

4.5.2.3	Estrutura dos dados para validação.....	131
4.5.2.4	Atribuir demanda de tráfego aos cenários.....	132
4.5.3	Simulação.....	134
4.5.3.1	Ajustes e correção da malha.....	135
4.5.4	Validação.....	136
4.5.4.1	Tempo de reação (comportamento do motorista).....	136
4.5.4.2	Período de aquecimento (<i>warm-up</i>).....	138
4.5.4.3	Resultados da validação.....	140
4.5.5	Resultados de saída da microsimulação.....	147
4.6	AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE TRÁFEGO DO HCM-2010 E DO MICROSSIMULADOR AIMSUN.....	152
4.6.1	Parâmetros de comparação.....	152
4.6.2	Resultados.....	152
5.	CONCLUSÕES.....	167
	REFERÊNCIAS.....	171

1 INTRODUÇÃO

O acentuado crescimento econômico do Brasil na última década ampliou as demandas de escoamento das cargas e de transporte de passageiros, necessitando de melhorias na infraestrutura viária das rodovias.

Os investimentos em infraestrutura viária representam um ponto importante para o desenvolvimento econômico do país, por contribuírem com a melhoria das rodovias na condição de trafegabilidade ao usuário, proporcionando assim, maior segurança, redução do tempo de viagem e redução dos custos operacionais.

Para um planejamento adequado do sistema viário e uma tomada de decisão certa dos gestores públicos, a respeito de que maneira será solucionada os problemas de congestionamentos, torna-se imprescindível um estudo detalhado do tráfego na rodovia.

Para contribuir com os estudos de engenheiros de tráfego, analistas e planejadores de sistemas de transporte, o conhecimento dos aspectos de capacidade e do nível de serviço são importantes para avaliar a condição de operação da rodovia.

De acordo com Setti (2009), existem diferentes métodos que foram desenvolvidos a partir de resultados de pesquisas realizadas, nos Estados Unidos, Canadá, Austrália e Alemanha, e que culminaram na publicação de manuais para análise de capacidade e do nível de serviço. Dentre esses manuais, provavelmente o mais conhecido é o Highway Capacity Manual (HCM), o manual americano de capacidade de rodovias, é utilizado em diversos países, principalmente naqueles que ainda não possuem um manual de capacidade nacional, caso do Brasil.

O Transportation Research Board (TRB) publicou no ano de 2010 a 5ª edição do manual de capacidade de rodovias, sendo denominado como HCM-2010.

Conforme Lindgren e Tantiyanugulchai (2003), o HCM é considerado um modelo de abordagem macroscópico, determinístico e estático, sendo assim, a simplicidade do modelo impede de se aprofundar investigações sobre os fenômenos do tráfego, e

desconsiderando de modo geral, as implicações estatísticas do comportamento do motorista e dos veículos na rede.

Para facilitar a análise dos estudos de tráfego em sistemas viários complexos, emprega-se o uso de programas de microssimulação de tráfego como ferramenta padrão, em função da dificuldade em se obter modelos analíticos capazes de incorporar parâmetros relacionados à geometria da rodovia, ao comportamento dos motoristas, aos tipos de veículos e as possíveis interações entre esses parâmetros.

Para Jolovic (2012), os microssimuladores de tráfego buscam representar com um alto nível de detalhes o comportamento de veículos numa rede viária. A modelagem microscópica está baseada na representação do deslocamento de veículos individuais, e os fatores importantes nestes modelos são a velocidade do veículo individual, reação a outros veículos, entre outros.

De acordo com Ayala (2013), os valores defaults, conhecidos também como parâmetros básicos, dos programas computacionais de microssimulação, apresentam valores provenientes das características de tráfego próprias do local onde esses programas foram desenvolvidos, ou seja, diversos modelos computacionais oferecem valores default para seus parâmetros. Os respectivos valores, dificilmente representam cada uma das realidades a ser estudada com os programas. Portanto, compete aos analistas identificar quais parâmetros devem ser calibrados para produzir resultados apropriados à realidade.

O conhecimento entre as diferenças dos modelos de abordagem macroscópica e microscópica por parte dos analistas e planejadores de transporte contribui para a tomada de decisão de qual modelo torna-se o mais adequado em função da característica da rodovia.

Na literatura são encontrados diversos estudos destacando-se os trabalhos desenvolvidos por Jillella e Hobeika (2001), Koppula (2002), Bloomer et al., (2003), Jolovic (2012), Macedo et al., (2013), com intuito de analisar os modelos de microssimulação com o método HCM, tendo esse último como base. Embora os respectivos modelos sejam diferentes, eles apresentam um universo paralelo, propondo-se a calcular características de tráfego numericamente, que quando adotados os mesmos dados de entrada, devem apresentar resultados parecidos.

A pesquisa a ser relatada nessa dissertação tem como finalidade fazer uma investigação acadêmica entre as características de tráfego calculadas pelo método HCM-2010 e o microssimulador AIMSUN para uma área de estudo em Santa Catarina.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar uma investigação acadêmica entre o método HCM-2010 e o microssimulador AIMSUN quanto a determinadas características de tráfego calculadas, a fim de verificar se existe semelhança nos resultados obtidos pelos respectivos modelos para uma área de estudo em Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos específicos

- Descrever o método proposto e implementá-lo, considerando área de estudo adotada.
- Modelar área de estudo utilizando as diretrizes contidas no manual HCM de edição 2010, volume 2 de fluxo ininterrupto, utilizando o *Highway Capacity Software* (HCS) versão 2010.
- Modelar área de estudo utilizando microssimulação de tráfego, de modo que, permita a aplicação do método proposto.
- Avaliar as características tráfego de densidade, velocidade e taxa de fluxo, calculadas numericamente, pelo método HCM-2010 e pelo o microssimulador AIMSUN, a fim de verificar a semelhança nos resultados, tendo o método HCM-2010 como base.
- Identificar as vantagens de utilizar o método HCM-2010 e a microssimulação de tráfego, na modelagem realizada para área de estudo.
- Identificar as principais dificuldades relacionadas ao desenvolvimento do estudo, com o uso do método HCM-2010 e pelo microssimulador de tráfego AIMSUN.

1.2 JUSTIFICATIVA

No Brasil, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), oficializa o HCM-2000 como método para

determinação da capacidade e do nível de serviço em rodovias, fornecendo também informações de densidade, velocidade e taxa de fluxo, já que uma versão mais recente do HCM só foi publicada no ano de 2010. Entretanto, o Banco Interamericano Desenvolvimento (BID, 2008), exige que em estudos e projetos financiados pelo banco, para ampliação de capacidade do sistema viário e implantação de transporte urbano, sejam realizados também estudos utilizando microssimuladores de tráfego.

Embora, o método HCM e a microssimulação de tráfego apresentem princípios diferentes, ambos propõem-se a calcular características de tráfego para o sistema viário.

Para Jolovic (2012), a utilização de microssimuladores de tráfego na engenharia é uma ferramenta moderna, que vem sendo cada vez mais utilizada, alvo de muitos estudos, que buscam o desenvolvimento de novos algoritmos para a simulação. É importante avaliar essa ferramenta com os métodos tradicionais, como o método HCM, que propõem-se a calcular características de tráfego semelhantes, tais como densidade e velocidade, afim de avaliar as diferenças nos resultados.

A presente dissertação trata-se de uma investigação acadêmica, que busca conhecer melhor as duas ferramentas e verificar quantitativamente as similaridades entre os resultados obtidos das características de tráfego entre o método HCM-2010 e o programa de microssimulação AIMSUN.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi estruturada em cinco capítulos, os quais detalham a sequência do estudo:

Capítulo 1: Introdução, onde são apresentadas as considerações introdutórias e expostos os objetivos e a justificativa.

Capítulo 2: Revisão bibliográfica, descreve-se a fundamentação teórica referente aos seguintes temas abordados no trabalho: teoria do fluxo de tráfego, capacidade e nível de serviço e o método HCM-2010, simulação, simulação de tráfego, microssimulador de tráfego AIMSUN, comparação entre o HCM-2010 e o microssimulador AIMSUN.

Capítulo 3: Método, descreve o método utilizado no estudo, com a presença de um organograma e descrição das etapas envolvidas de preparação da coleta de dados de tráfego, da análise da capacidade e do nível de serviço com uso do método HCM-2010 e da parte da microssimulação com uso do modelo computacional AIMSUN.

Capítulo 4: Aplicação do método na área de estudo, estão inseridos as análises e resultados do estudo.

Capítulo 5: Conclusões, traz as conclusões do trabalho onde também encontram-se as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será apresentada a revisão bibliográfica, com a fundamentação teórica, com a finalidade de proporcionar o embasamento para o desenvolvimento desta dissertação. A fundamentação teórica aborda os assuntos relacionados à teoria do fluxo de tráfego, ao manual de capacidade de rodovias, a simulação de tráfego, a microssimulação, a calibração dos modelos de microssimulação e por últimos estudos de vários autores a respeito da comparação entre o método HCM e a microssimulação.

Na seção 2.1, que trata da teoria do fluxo de tráfego, é apresentada uma síntese abordando as três principais características macroscópicas do tráfego, sendo, densidade, velocidade e fluxo, que serão discutidas no decorrer do desenvolvimento desta dissertação.

Na seção 2.2, é apresentado o manual de capacidade de rodovias, suas definições relacionadas à capacidade e ao nível de serviço, a evolução do manual, o método de cálculo, os tipos de segmentos, critérios para divisão dos segmentos, a adaptação da realidade brasileira para a modelagem feita nos Estados Unidos.

Na seção 2.3, é abordado inicialmente o conceito clássico de simulação, apresentado a simulação de tráfego quanto aos conceitos fundamentais, a sua utilização, as vantagens e limitações, e a sua respectiva classificação em modelos de macrossimulação, microssimulação e mesossimulação. O modelo de microssimulação é abordado especificamente por ser alvo do respectivo estudo, são apresentadas as suas definições, vantagens e desvantagens, dados de entrada considerados nos modelos, a lógica do modelo quanto aos tipos de algoritmos. São apresentados também os modelos de microssimulação de tráfego quanto aos tipos de *softwares* existentes, comerciais e não comerciais, dando uma ênfase maior ao microssimulador de tráfego AIMSUN, que é utilizado no desenvolvimento desse estudo.

Na seção 2.4, é apresentada especificamente a calibração dos modelos de microssimulação, quanto a sua definição, objetivos, procedimentos utilizados no processo de calibração e os respectivos parâmetros existentes que podem ser calibrados.

A seção 2.5, aborda a comparação entre o método HCM e a microssimulação, são apresentados estudos realizados por vários autores e os seus resultados quantitativos, que tiveram como objetivo realizar uma análise comparativa entre o método HCM e os programas de microssimulação, a fim de avaliar se determinadas características de tráfego apresentam correlação com o método HCM.

2.1 TEORIA DO FLUXO DE TRÁFEGO

Os estudos de tráfego compreendem frequentemente a caracterização de correntes de tráfego que são formadas a partir da interação entre veículos e condutores individuais, entre si e com o sistema viário.

Como as características dos motoristas variam de acordo com o local e ao longo do tempo, o estudo do comportamento do tráfego envolve sempre um elemento de variabilidade. Portanto, os modelos desenvolvidos para descrever a corrente de tráfego devem levar em consideração intervalos normais de comportamento, que definem a forma como os engenheiros de tráfego analisam, avaliam e planejam melhorias dos sistemas viários.

De acordo com Andrade (2012), são definidos parâmetros passíveis de serem medidos ou estimados, dentre os parâmetros comumente empregados, os chamados macroscópicos descrevem as características agregadas da corrente de tráfego, enquanto os microscópicos lidam com as interações veículo a veículo.

O estudo dessa dissertação aborda trechos de fluxo ininterrupto de *freeway*, entrelaçamento, rampas de entrada e saída, conforme descrito no HCM-2010.

2.1.1 Características macroscópicas de tráfego

Para os trechos de fluxo ininterrupto do respectivo estudo, as três principais características macroscópicas do tráfego são fluxo, velocidade e densidade, descritos a seguir.

2.1.1.1 Fluxo de tráfego

Para compreendermos o fluxo de tráfego em uma seção, torna-se necessário compreender o significado de volume de tráfego.

Denomina-se volume (V) o número total de veículos que passam num dado ponto ou seção de uma via, sentido ou faixa de tráfego durante um determinado período de tempo (GERLOUGH; HUBER, 1975 *apud* HALL, 1992).

Os volumes geralmente são classificados por categoria de veículo e totalizados em períodos de tempo.

Ao contrário do volume, o fluxo de tráfego (v) não representa o número total de veículos que passa por uma dada seção, mas sim a taxa de passagem desses veículos em uma determinada unidade de tempo. Usualmente (v) é dado em veíc/h ou cp/h, ou seja, veículos equivalentes de passeio.

$$v = V / t \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Onde:

v = taxa de fluxo

V = volume de tráfego

t = tempo

2.1.1.2 Velocidade e tempo de viagem

Segundo Andrade (2012), os veículos assumem velocidades diferentes entre si na corrente de tráfego, sendo assim, a velocidade (S) é caracterizada por quanto tempo determinada distância foi percorrida. Portanto, a velocidade do fluxo (S) deve ser caracterizada por um valor médio das velocidades individuais (S_i) dos veículos.

Já o tempo de viagem (t) é o intervalo de tempo médio que uma corrente de tráfego despende para percorrer a distância entre o ponto inicial e final de uma viagem, e é inversamente proporcional à velocidade.

$$S = d / t \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Onde:

S = velocidade

d = distância percorrida

t = tempo necessário para percorrer a distância

Na passagem do fluxo de tráfego, cada veículo viaja a uma velocidade diferente, sendo assim, não ocorre um valor característico, mas sim uma distribuição de velocidades individuais. O fluxo de tráfego pode ser caracterizado utilizando uma velocidade média temporal (μ_t) e média espacial (μ_s) (MCSHANE, PRASS, ROESS, 2011).

A velocidade média temporal, é medida em um ponto fixo da rodovia, obtida por radar, pode ser calculada como a média aritmética das velocidades individuais de todos os veículos na via, sendo expressa em km/h ou m/s.

$$\mu_t = \frac{\sum_i (d / t_i)}{n} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Onde:

μ_t = velocidade média temporal

d = distância percorrida

n = número de veículos observados

t_i = tempo “i” para os veículos percorrerem a seção

A velocidade média espacial, é a velocidade de uma rodovia baseada no tempo médio de viagem para percorrer um comprimento de rodovia, expresso em km/h ou m/s.

$$\mu_s = \frac{d}{\left(\sum_i t_i / n \right)} \quad \text{Eq. 2.4)}$$

Onde:

μ_s = velocidade média espacial

d = distância percorrida

n = número de veículos observados

t_i = tempo “i” para os veículos percorrerem a seção

2.1.1.3 Densidade

A densidade (D) é dada pela relação entre a quantidade de veículos em um trecho de via e a extensão do mesmo. A densidade é uma medida macroscópica da distância entre veículos, afetando diretamente a liberdade de manobra e conforto psicológico dos motoristas (ROESS *et al.*, 2010).

Portanto, das principais características macroscópicas de tráfego, a densidade é o que se relaciona mais diretamente com o nível de serviço em *freeway*, no método do HCM.

Apesar de sua importância, a densidade é um parâmetro de difícil mensuração. Medidas diretas podem ser feitas através de fotos ou filmagens aéreas do tráfego, mas os métodos e equipamentos de coleta contínua de dados não são capazes de obter medidas diretas da densidade. No entanto, a evolução da tecnologia de coleta por laços indutivos, que medem parâmetros em um trecho curto de via, acabou por produzir uma nova medida, chamada ocupância (HALL, 1992).

2.1.2 Relação fundamental de tráfego

Dentre as relações existentes entre as características macroscópicas de tráfego abordadas, destaca-se a interação entre taxa de fluxo (v), a velocidade média espacial (μs) e a densidade (D). Para cada par disponível das características apresentadas é possível estimar o terceiro, por meio da relação fundamental do tráfego (MCSHANE, PRASS, ROESS, 2011).

$$v = \mu s \times D \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Onde:

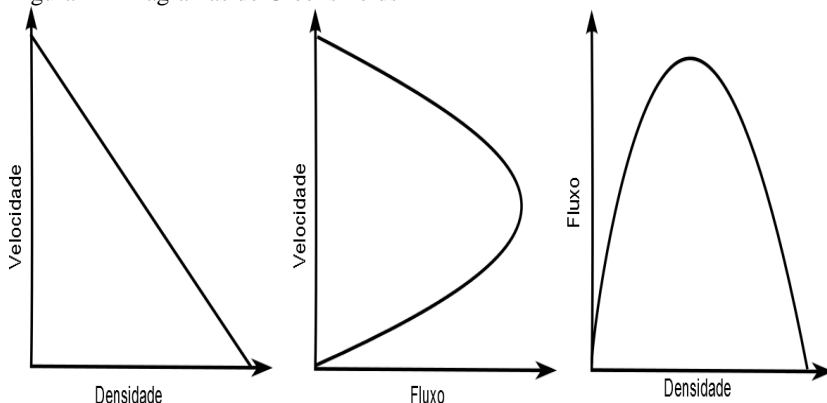
v = taxa de fluxo

μs = velocidade média espacial

D = densidade

O modelo de Greenshields pressupõe uma relação linear entre μs e D, o que faz com que as relações v - μs e D- v sejam representadas por parábolas, conforme mostrado nos diagramas da Figura 1.

Figura 1 – Diagramas de Greenshields



Fonte: HALL, 1992 *apud* ANDRADE, 2012

Diante dos diagramas apresentados, pode-se inferir que a velocidade máxima representa a velocidade hipotética praticada pelos veículos quando o fluxo e a densidade são iguais a zero. No outro extremo, a densidade máxima corresponde à saturação da via, quando a velocidade é nula e o espaçamento entre os veículos é o mínimo possível. O ponto médio das curvas representa a operação na capacidade, na qual o fluxo é o máximo possível (ANDRADE, 2012).

Conforme TRB (2010), os modelos baseados nas variáveis macroscópicas de tráfego assumem um papel central em um significativo número de métodos, *softwares* e manuais. Por exemplo, o método do HCM para avaliação da capacidade e do nível de serviço em trechos de *freeways* e rodovias de faixas múltiplas baseia-se na relação fluxo-velocidade.

2.2 MANUAL DE CAPACIDADE DE RODOVIAS (HCM)

2.2.1 Definições de capacidade e nível de serviço em rodovias

2.2.1.1 Capacidade de rodovias

De acordo com o TRB (1997), a capacidade de uma rodovia é definida pelo HCM como a quantidade máxima esperada de veículos que cruzam uma determinada seção da rodovia durante um período de

tempo em que as condições predominantes de tráfego, de controle e as características geométricas da via não se alteram significativamente.

2.2.1.2 Nível de serviço em rodovias

Para identificar qual o volume de tráfego que pode transitar pela rodovia de forma que um certo nível de qualidade da operação seja mantido, utiliza-se o conceito de nível de serviço, conhecido como Level of Service (LOS).

O nível de serviço é uma medida qualitativa de operação de uma via e, sua definição envolve características de tráfego que possam descrever as expectativas dos usuários em relação à qualidade operacional da rodovia, tais características são denominadas medidas de eficácia ou medidas de desempenho (TRB, 2000).

O nível de serviço reflete a percepção dos usuários em função de diversos fatores, tais como velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobras, interrupções do tráfego, segurança, conforto e conveniência.

2.2.2 Evolução do manual de capacidade de rodovias

O aumento do transporte motorizado nos Estados Unidos, na década de 20, criou uma demanda de tráfego acima da capacidade de muitas rodovias existentes na época e tornou-se clara a necessidade de estudos sobre o volume de tráfego e a capacidade das rodovias, a fim de auxiliar os engenheiros de transportes no planejamento e projeto de rodovias (MACLEAN, 1989).

Assim, o período de 1922 a 1935 marcou o início das pesquisas científicas sobre a capacidade das rodovias. Contribuições significativas foram feitas nesse período por Johnson e Greenshields. A partir de 1935, o *US Bureau of Public Roads* realizou uma série de estudos empíricos e analíticos, visando determinar a capacidade para vários tipos de rodovias, esses estudos formaram a base do primeiro *Highway Capacity Manual*, publicado em 1950 (MACLEAN, 1989).

A primeira edição do HCM foi à de 1950, baseada em estudos feitos por Olav K. Normann para o *Bureau of Public Roads* dos EUA. Nessa edição, são definidos três valores para a capacidade (básica,

possível e teórica) e estipula-se em 2.000 carros de passeio por hora (cp/h) o valor da capacidade para um trecho de rodovia de pista simples em condições básicas, independente da divisão direcional do tráfego (KITTELSON, 2001).

Na segunda edição do HCM, publicada em 1965, define-se o conceito de nível de serviço, dividido em seis faixas (de A a F). Também nessa edição usa-se o termo capacidade sob condições ideais, correspondente à capacidade básica definida no manual de 1950, e estabelecida em 2000 cp/h considerando as duas direções de tráfego (MCLEAN, 1989).

Um estudo sobre a capacidade de rodovias de pista simples realizado no Canadá sugeriu que a capacidade estipulada no HCM-1965 era inconsistente com os valores observados normalmente. Este estudo revelou que a capacidade encontrada varia significativamente com as condições meteorológicas, com a presença de veículos lentos e com a distribuição direcional do tráfego (VAN AERDE e YAGAR, 1984).

Na terceira edição do HCM, publicada em 1985, foi incluída uma nova medida de serviço para determinar os níveis de serviço, pois a velocidade média do tráfego, de forma isolada, não refletia adequadamente a relação entre a oferta e a demanda de ultrapassagem, que é fundamental para a operação de tráfego em rodovias de pista simples, assim, foi incluída a porcentagem de tempo de atraso (*percent time delay*) como medida de serviço complementar para determinar o nível de serviço em rodovias de pista simples (HARWOOD *et al.*, 1999).

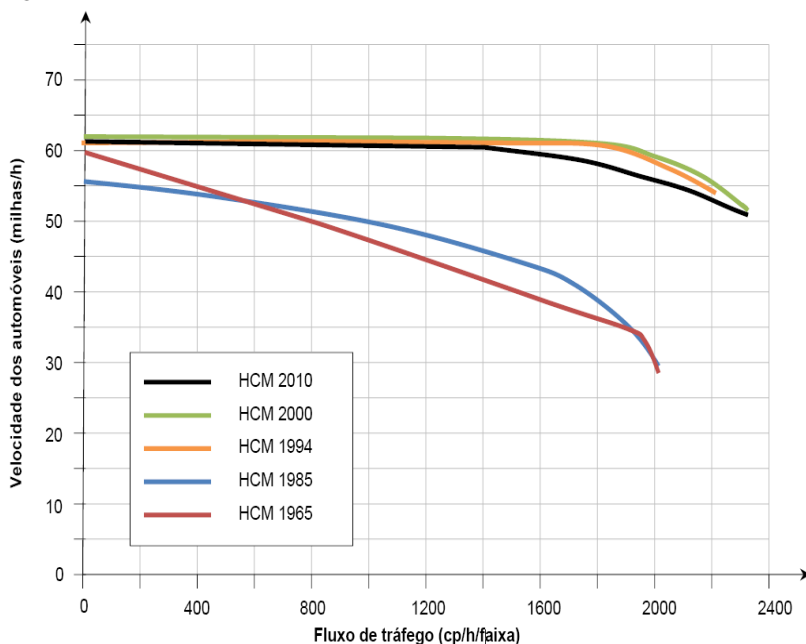
Na quarta edição do HCM, publicada em 2000, a porcentagem de tempo de atraso passou a se chamar porcentagem de tempo viajando em pelotões (*percent time spent following*), pois o termo anterior (*percent time delay*) foi considerado confuso pelos usuários do manual. O *headway* que define quando dois veículos trafegam em pelotão diminuiu de 5 para 3 segundos e os volumes de serviços que delimitam os níveis de serviço também foram alterados. Outra inovação foi o procedimento de análise operacional para trechos contendo faixas adicionais (TRB, 2000).

Na quinta edição do HCM, publicada em 2010, ocorreu a recalibração das curvas fluxo-velocidade, em função do aumento do

limite legal de velocidade nos EUA para 120 km/h, à versão anterior considerava curvas para *freeways* com velocidade de fluxo-livre variando entre 80 e 110 km/h (ROESS, 2011).

A Figura 2 a seguir, apresenta a evolução da relação fluxo e velocidade ao longo das edições do HCM.

Figura 2 – Evolução da relação fluxo e velocidade ao longo das edições do HCM



Fonte: ANDRADE (2012)

Na figura apresentada é tomado como exemplo uma curva para velocidade inicial próxima a 60 mi/h, conforme o sistema de unidades usado pelo HCM.

2.2.3 HCM-2010

O modelo para rodovias de faixas múltiplas foi mantido inalterado em relação ao usado no HCM-2000, por falta de recursos para financiar os estudos necessários para sua substituição. A principal alteração na edição atual do manual se deu nos valores atribuídos ao ponto em que a velocidade da corrente começa a decrescer. A análise

dos dados sugeriu que a porção das curvas na qual a velocidade é constante é igual à de fluxo livre seria mais curta do que o indicado pelo HCM-2000 (ROESS, 2009).

De acordo com o TRB (2010), a quinta edição do HCM apresenta curvas fluxo-velocidade para freeways com FFS entre 120 km/h e 90 km/h e para rodovias de faixas múltiplas com FFS entre 100 km/h e 70 km/h, representativas de uma ampla gama de características físicas e operacionais.

2.2.3.1 Tipos de segmentos

De acordo com o TRB (2010), o manual de capacidade de rodovias, para rodovias de fluxo ininterrupto, apresenta procedimento de cálculo de verificação de capacidade e nível de serviço para 5 (cinco) tipos de segmentos de rodovias, sendo;

- Duas faixas: não dividida, com duas faixas, cada uma usada pelo tráfego em uma direção. Manobras de ultrapassagem são limitadas através de brechas na corrente de tráfego oposta e também pela avaliação de distância suficiente e segura para ultrapassagem.
- Múltiplas faixas: apresenta duas ou mais faixas por sentido, sem divisão central quando existe apenas uma marca no pavimento separando as correntes opostas. Inexistente controle de acesso e saída, prejudicando o fluxo e tornando a performance desse tipo de rodovia diferente das *freeways*.
- Básico de *freeway*: são rodovias de faixas múltiplas de alto padrão, que operam necessariamente com divisória central física, e nas quais há total controle dos acessos, na forma de dispositivos especialmente construídos para a entrada e saída de veículos.
- Entrelaçamento de *freeway*: é definido como um cruzamento de dois ou mais fluxos de tráfego que viajam na mesma direção ao longo de um comprimento significativo da rodovia sem o auxílio de dispositivos de controle de tráfego. Os segmentos de entrelaçamento são formados quando os segmentos de rampas de entrada são próximos a segmentos de rampas de saída. Rigorosamente implica que não há distância suficiente entre

segmentos de rampas de entrada e saída para eles operarem independentemente.

- Rampas de entrada e saída de *freeway*: fazem a conexão entre duas rodovias, os movimentos são de entrada e saída, em *freeways* são denominadas junções de rampas.

2.2.3.2 Critérios para divisão dos segmentos

Os critérios para a divisão dos segmentos da rodovia são realizados conforme as diretrizes contidas no manual HCM de edição 2010, volume 2 de fluxo ininterrupto. De forma geral as rodovias, se dividem como sendo do tipo *freeway*, faixas múltiplas e duas faixas.

Para o respectivo estudo, utilizou-se apenas a divisão de segmentos do tipo *freeway* em função das características da rodovia, sendo assim, será detalhado a seguir o critério de divisão de segmentos para *freeways*.

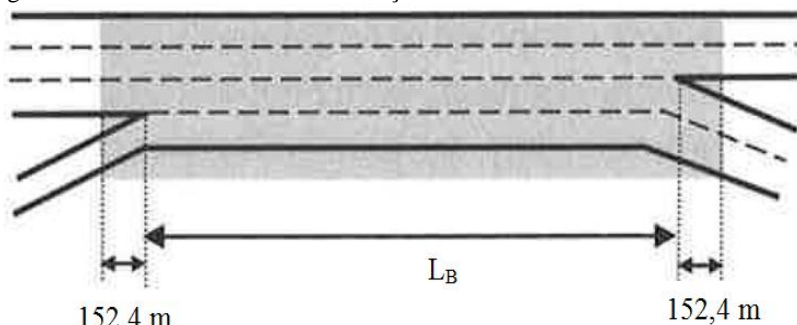
a) Rodovia do tipo *freeway*

A rodovia pode ser dividida em 3 (três) segmentos do tipo básico, entrelaçamento e rampas de entrada e saída. O critério para a divisão segue o tipo de geometria e também as áreas de influência dos segmentos de entrelaçamento e rampas de entrada e saída. A rodovia do tipo *freeway* deve apresentar;

- Uma velocidade fluxo livre (FFS) de 88,51 a 120,70 km/h (55 a 75 mi/h);
- No mínimo duas faixas por sentido;
- Largura de faixa de 3,04 a 3,65 metros (10 a 12 ft) ou mais;
- Desobstrução lateral de 0 a 1,82 metros (0 a 6ft) ou mais; e,
- Densidade total de rampa de 0 a 6 rampas por milha.

Para os segmentos de entrelaçamento de *freeway* a área de influência deve ter uma distância de 152,4 metros (500 ft) a montante e a jusante do comprimento básico do entrelaçamento definido como sendo LB, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Área de influência de entrelaçamento

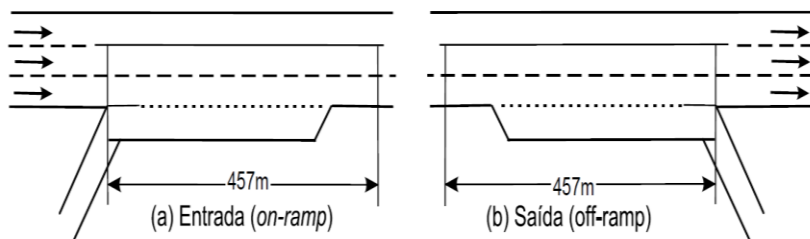


Fonte: TRB (2010)

As duas configurações típicas para dispositivos de rampas: (a) entrada (on-ramp); (b) saída (off-ramp) de freeway. No caso (a), os veículos que desejam ingressar na via precisam encontrar uma brecha na faixa adjacente à faixa auxiliar, e induzem os veículos que trafegam à direita da freeway a mudar de faixa. Em ambos os casos, há geração de turbulência nos arredores da junção. A área de influência desse efeito é preponderante nas duas faixas mais à direita e se estende 457 m a jusante, no caso (a), e 457 m a montante, no caso (b), a partir do ponto de acesso (TRB, 2010).

A Figura 4 a seguir ilustra a configuração e área de influência de rampas de entrada e saída.

Figura 4 – Configuração e área de influência de rampas de entrada e saída



Fonte: Adaptado TRB 2010 *apud* ANDRADE (2012)

2.2.3.3 Estudos relacionados a adequação do HCM a realidade brasileira

O manual HCM é uma publicação que reúne as investigações feitas nos Estados Unidos, para a análise de vias, contendo conceitos e procedimentos de cálculo para estimar a capacidade e qualidade do serviço das instalações viárias, utilizadas em todo o mundo (KITTELSON, 2000).

Por esta razão, diferentes pesquisas foram desenvolvidas, buscando verificar a adequação das metodologias do manual americano para as condições existentes nos outros países, como no caso dos países da América do sul. Portanto, justifica-se o estudo dos aspectos necessários para uma adaptação do HCM na realidade brasileira.

Com esse propósito, diferentes pesquisas têm sido desenvolvidas: no Brasil por Gasparini (2002), Paula (2006) e Egami (2006).

O estudo realizado por Gasparini (2002) analisou a adequabilidade do HCM 2000 para o estudo de vias urbanas brasileiras. O estudo teve como objetivo investigar o grau de suficiência dos parâmetros já utilizados pela metodologia do HCM 2000 relacionados à determinação da velocidade em movimento, e identificar outros parâmetros que podem influenciar nessa velocidade. A principal conclusão desse trabalho foi que a distribuição e a variação dos fluxos nas faixas de tráfego e a composição do tráfego variam consideravelmente e devem influenciar na velocidade. O estudo também concluiu que os tempos de percurso coletados em campo foram sempre mais elevados que os do HCM 2000, indicando sua não adequabilidade para a realidade das vias analisadas.

A pesquisa desenvolvida por Paula (2006) teve como objetivo propor uma adaptação do HCM 2000 para análise de vias urbanas e que possa ser utilizada de forma confiável nas vias de Fortaleza. O autor concluiu que a metodologia do HCM 2000, para análise de vias urbanas é complexa pela difícil compreensão, observando-se grandes diferenças entre a realidade americana e a brasileira, o que faz necessária a elaboração de alterações para a adequação da metodologia. Foram encontrados resultados estimados de velocidade média de percurso significativamente diferentes dos obtidos em pesquisas de campo, que

não apresentaram um padrão específico, sendo valores superestimados e valores subestimados.

Por fim, Paula (2006) recomenda a utilização de ferramentas de simulação de tráfego para estimar a VMP para fins operacionais, as quais podem ser calibradas com mais facilidade para a realidade de cada local.

O trabalho de Egami (2006) trata da adaptação dos fatores usados no método do HCM 2000 para o cálculo do nível de serviço de rodovias de pistas simples para o Brasil, considerando que a composição da corrente de tráfego (em termos de automóveis e veículos pesados), os veículos e os motoristas podem diferir dos encontrados nos Estados Unidos. Foram obtidos novos valores para os fatores de ajuste usados na metodologia para a estimativa da capacidade e nível de serviço de rodovias de pistas simples do *Highway Capacity Manual*, edição 2000. Os valores encontrados são os que melhor representam as condições do tráfego achadas em rodovias de pista simples brasileiras estudadas nesta pesquisa; e foram obtidos por meio de resultados de simulação (software TRARR).

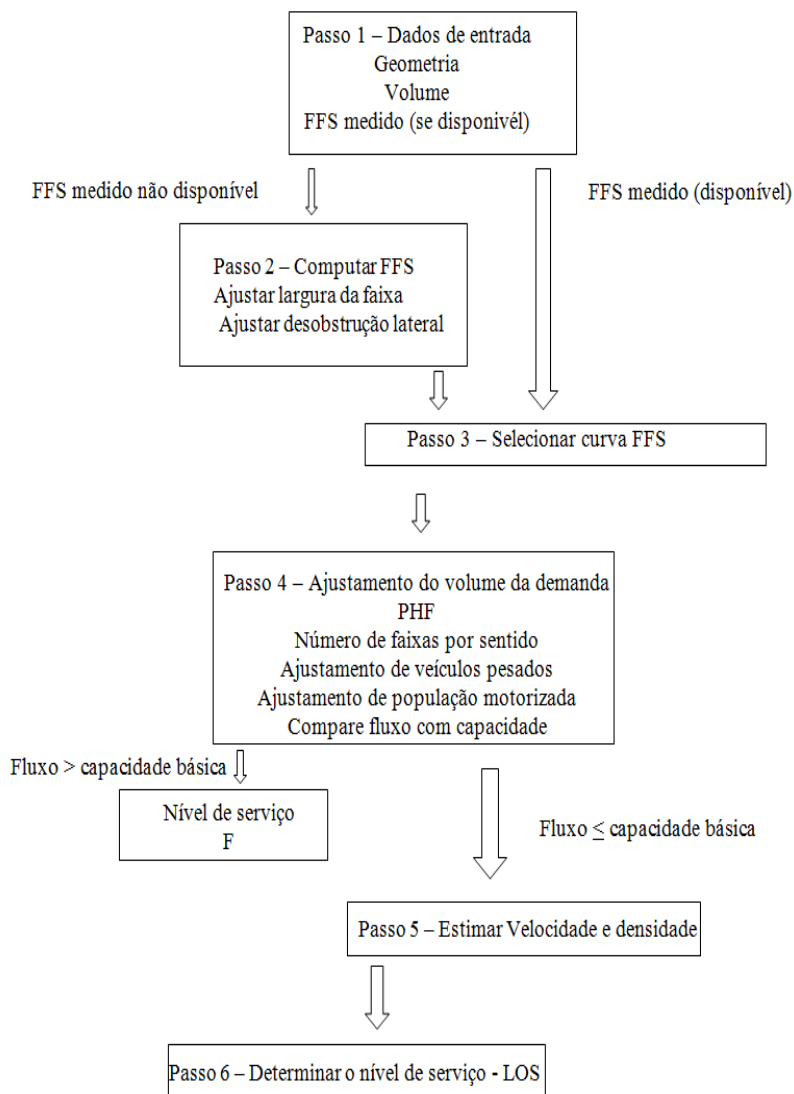
2.2.3.4 Método de cálculo HCM-2010

A seguir é apresentada uma síntese a respeito do método de cálculo do manual HCM-2010 para rodovia de fluxo ininterrupto para os segmentos básico, de entrelaçamento e rampas de entrada e saída para *freeways*.

a) Segmento básico *freeway*

A rotina de cálculo para rodovias de segmento básico do tipo *freeway* é apresentado conforme o fluxograma a seguir da Figura 5, que ilustra os procedimentos e os passos para a determinação da capacidade e do nível de serviço.

Figura 5 – Metodologia de cálculo para *freeway* (Adaptado HCM, 2010)



Fonte: TRB (2010)

Para determinar o LOS da *freeway* é necessário calcular a densidade conforme apresentado na Figura 5 e correlacionar o seu valor para determinar o LOS, conforme o Quadro 1.

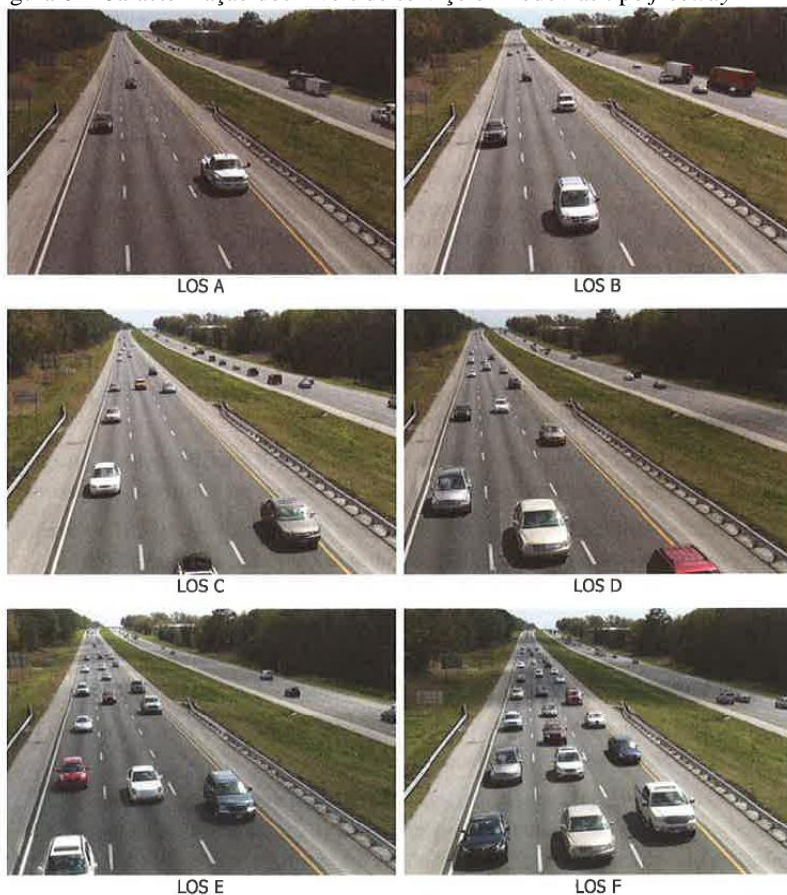
Quadro 1 – Densidade e LOS para segmento básico de *freeway* (Adaptado HCM-2010)

Nível de Serviço (LOS)	Densidade (pc/mi/ln)
A	≤ 11
B	$> 11 - 18$
C	$> 18 - 26$
D	$> 26 - 35$
E	$> 35 - 45$
F	> 45 Demanda excede capacidade

Fonte: TRB (2010)

A seguir na Figura 6 são apresentadas situações que representam cada um dos níveis de serviço em um mesmo segmento de uma rodovia definidos conforme critérios do HCM.

Figura 6 – Caracterização dos níveis de serviço em rodovias tipo *freeway*



Fonte: TRB (2010)

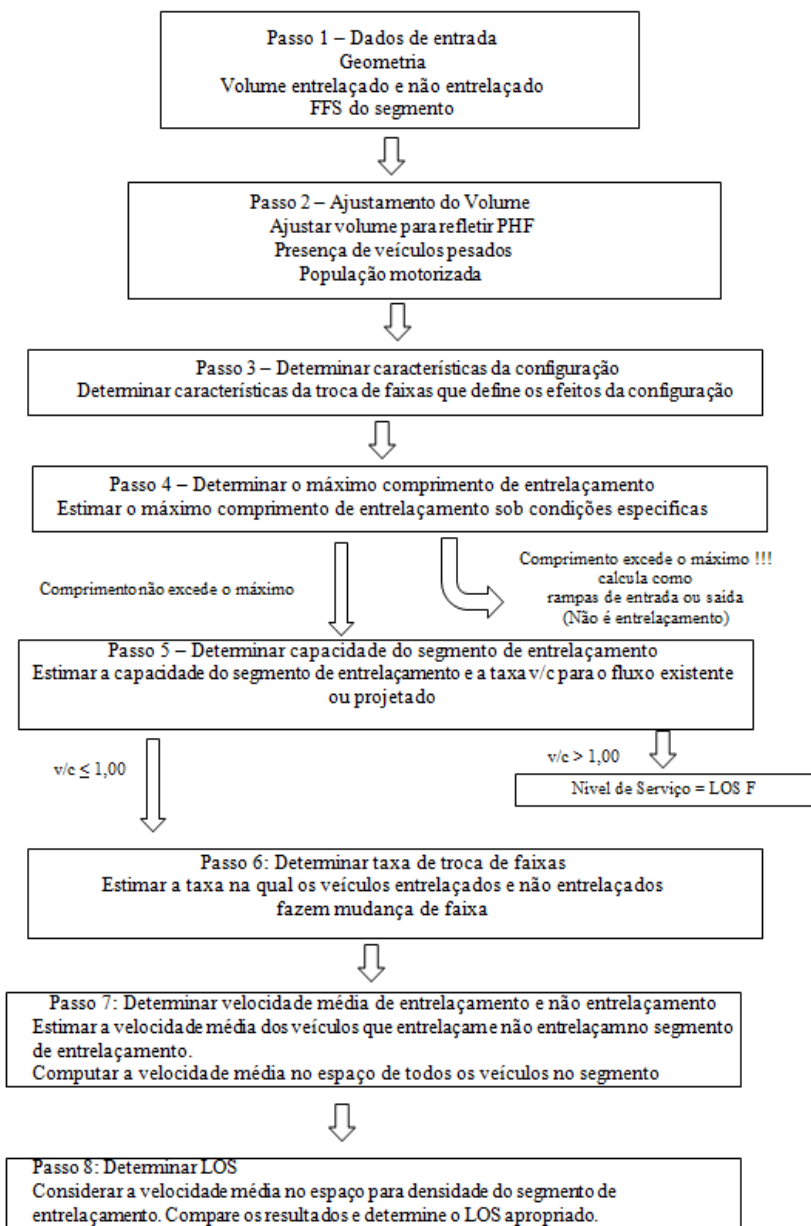
Conforme a figura apresentada os níveis de serviço pelo HCM-2010 são denominados, A, B, C, D, E, e F, sendo que o nível A representa as melhores condições de tráfego e o nível F representa situações de congestionamento. O limite entre os níveis E e F representa a situação correspondente à capacidade da via.

b) Segmento de entrelaçamento

No HCM 2010, é apresentado um novo método para análise de entrelaçamentos, que inclui uma equação para se determinar se um segmento opera ou não como entrelaçamento (ROESS *et al.*, 2008).

A rotina de cálculo para segmentos de entrelaçamento é apresentado conforme o fluxograma a seguir da Figura 7, que ilustra os procedimentos e os passos para a determinação da capacidade e do nível de serviço.

Figura 7 – Metodologia de cálculo para entrelaçamento (Adaptado HCM-2010).



Fonte: TRB (2010)

Para determinar o LOS de segmentos de entrelaçamento é necessário calcular a densidade conforme apresentado na Figura 6 e correlacionar o seu valor para determinar o LOS, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Densidade e LOS segmento de entrelaçamento (Adaptado HCM-2010)

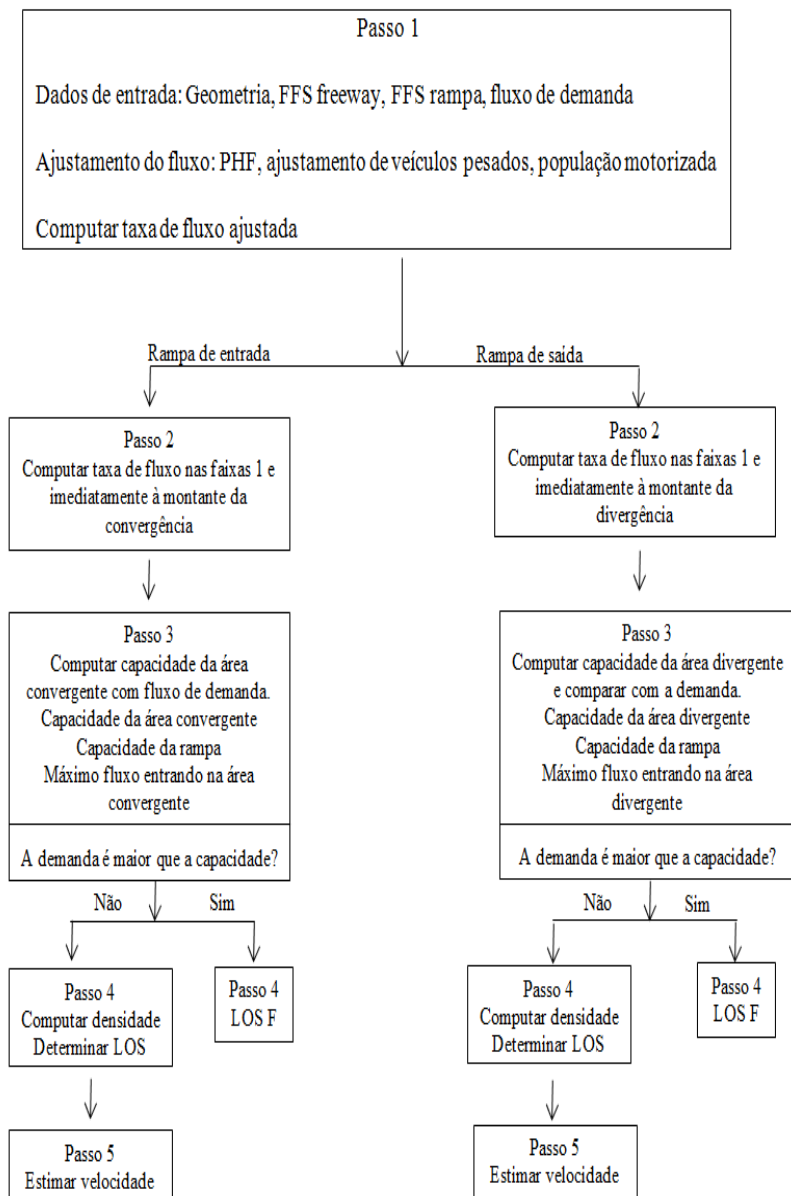
Nível de Serviço (LOS)	Densidade para segmento de entrelaçamento com a <i>freeway</i> (pc/mi/ln)	Densidade para segmento de entrelaçamento em rodovia de múltiplas faixas ou estradas C-D (pc/mi/ln)
A	0 – 10	0 – 12
B	> 10 – 20	> 12 – 24
C	> 20 – 28	> 24 – 32
D	> 28 – 35	> 32 – 36
E	> 35	> 36
F	Demanda excede capacidade	

Fonte: TRB (2010)

c) Segmento de rampas de entrada e saída

A rotina de cálculo para segmentos de rampas de entrada e saída é apresentado conforme o fluxograma a seguir da Figura 8, que ilustra os procedimentos e os passos para a determinação da capacidade e do nível de serviço.

Figura 8 – Metodologia de cálculo para rampas de entrada e saída (Adaptado HCM-2010).



Fonte: TRB (2010)

Para determinar o LOS dos segmentos de rampas de entrada e saída é necessário calcular a densidade conforme apresentado na Figura 8 e correlacionar o seu valor para determinar o LOS, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Densidade e LOS segmento de rampas de entrada e saída (Adaptado HCM-2010)

Nível de Serviço (LOS)	Densidade (pc/mi/ln)	Comentários
A	≤ 10	Sem restrição de operação
B	$> 10 - 20$	Manobras de convergência e divergência visíveis aos motoristas
C	$> 20 - 28$	Velocidades na área de influência começam a diminuir
D	$> 28 - 35$	Turbulência na área de influência se torna incomodo
E	> 35	Turbulência sentida por praticamente todos os motoristas
F	Demanda excede capacidade	Formação de filas nas rampas e na <i>freeway</i>

Fonte: TRB (2010)

2.3 SIMULAÇÃO

A palavra “simulação” é derivada do latim “*simulatus*” que significa imitar, de onde pode-se concluir que a simulação pode ser conceituada como a imitação de uma situação real, através do uso de modelos, tendo como objetivo representar o comportamento e as interações dos elementos de um sistema para permitir uma avaliação prévia do seu desempenho (COELHO, 2009).

2.3.1 Simulação de tráfego

Para Hollander e Liu (2008), a simulação de fluxos de tráfego sofreu um enorme desenvolvimento desde o surgimento dos primeiros modelos, na década de 1950. Um dos primeiros simuladores foi o criado por Lighthill e Whitham no ano de 1955, que usava uma analogia entre o movimento de partículas de um fluido e o fluxo de veículos.

Os simuladores de tráfego, conforme descreve Gonçalves (2012), tratam, de modo geral, dos componentes ligados aos sistemas de tráfego, como os tipos de veículos, o número de vias, sinalização semafórica, entre outros. A simulação de tráfego visa verificar o comportamento da rede viária à medida que esta é afetada pelos componentes citados, entre outros que podem ser modelados conforme os objetivos pretendidos.

Conforme Vasconcelos (2004), a simulação de tráfego é largamente utilizada no âmbito dos processos de planejamento e gestão de sistemas de transportes. Para a utilização da simulação de tráfego como instrumento de gestão de transportes, são necessários recursos como dados de entrada e instrumentos computacionais, que permitam a simulação de cenários.

De acordo com o DNIT (2006), a simulação do tráfego só é possível mediante uma completa descrição das vias que irão compor a referida rede. Assim, é imprescindível o acesso às características da malha, tais como distância, velocidades, custos operacionais, custos de tempo de viagem, entre outros. Esses fatores são obtidos em função do cadastro rodoviário do trecho e dos custos unitários de transporte, estabelecidos para cada tipo de veículo considerado.

Normalmente a criação de um modelo de simulação envolve um esforço relativamente grande, porém, depois de criado permite uma grande variedade de situações alternativas. Dessa forma, podem-se analisar diversos cenários e antecipar os impactos positivos ou negativos a partir da implantação de uma determinada alternativa (POYARES, 2000).

Conforme Portugal (2005), o grande benefício da simulação de tráfego, está relacionado ao fato de evitar dispendiosos testes em campo, que além de apresentarem riscos muitas vezes são impossíveis

de serem realizados. A simulação oportuniza testar novas alternativas, com diferentes cenários, capazes de representar diferentes ambientes de tráfego.

Ainda de acordo com Portugal (2005), esses cenários permitem que sejam considerados diferentes horários do dia, mudanças no tempo (presente/futuro), mudanças no volume de tráfego e possíveis incidentes, avaliando de várias formas a situação da área estudada antes de uma real intervenção no tráfego. Busca-se através da técnica de simulação replicar sinteticamente uma sequência de eventos hipotéticos no sistema em estudo.

Os modelos de simulação se dividem em determinísticos ou estocásticos, para Saliby (1989) *apud* Poyares (2000), uma simulação é determinística quando todas as variáveis presentes são também determinísticas. Ao contrário, uma simulação estocástica baseia-se geralmente numa decisão mais próxima e também mais complexa da realidade.

De acordo com Gonçalves (2012), os modelos de simulação ainda se subdividem como abordagens de macrossimulação, mesossimulação ou microssimulação, dependendo do tamanho da rede e do nível de detalhamento buscado.

De acordo com Setti (2005), a macrossimulação pressupõe que a corrente de tráfego é formada por veículos e condutores com características semelhantes, sendo mais adequada aos estudos em que as condições de fluxo são constantes. Já a microssimulação avalia os veículos e os condutores de forma individual, sendo que, neste caso, os condutores e os processos interativos que ocorrem são detalhados tanto quanto necessário ao propósito do estudo.

A mesossimulação é considerada uma abordagem intermediária. Trata-se de um tipo de modelo que embora não chegue ao detalhamento dos veículos individuais, permite a simulação de fenômenos de tráfego causados por comportamentos individuais (SETTI, 2005).

2.3.1.1 Microssimulação de tráfego

No modelo de microssimulação, todos os veículos são identificados individualmente, a posição e a velocidade de cada veículo

definem o estado do sistema como variáveis dependentes do tempo. Os modelos matemáticos referentes a esta escala, são representados pelas equações da mecânica newtoniana, ou seja, equações diferenciais da dinâmica que descrevem sua evolução geralmente por sistemas de equações diferenciais ordinárias (RODRIGUES, 2012).

De acordo com McLean (1989), as principais vantagens da microssimulação estão relacionadas a possibilidades como: simular uma gama de condições operacionais, considerando diferentes períodos; simular condições difíceis de serem observadas no espaço real; e obter dados praticamente impossíveis de serem averiguados na prática. Em contrapartida, assim como nos modelos matemáticos, as desvantagens da microssimulação estão relacionadas ao fato de o modelo ou o experimento não poder representar bem a realidade que se deseja simular.

Ainda de acordo com McLean (1989), para que esses problemas sejam minimizados, existem os processos de validação, entre as correntes de tráfego real e simulada, a fim de aproximar ao máximo a situação simulada a real. Para tanto é necessário utilizar técnicas de redução de variância, que objetivam aumentar a confiabilidade dos resultados da simulação. Assim, para cada tipo de modelo é necessário o desenvolvimento dos processos de validação.

A publicação da FHWA (2004b), ressalta que, para os modelos de microssimulação são considerados como dados de entrada:

- Geometria da via (comprimento, número de faixas, curvatura).
- Mecanismos de controle existentes (localização dos sinais, tempo dos sinais).
- Estimativa de demanda (volume de tráfego, matriz O/D).
- Dados de calibração (capacidade, tempo de viagem, filas).
- Trânsito, bicicletas e pedestres (influência do tráfego local).

Na microssimulação, o processo de geração de veículos na corrente de tráfego inicia-se a partir de um sistema vazio, em que os

veículos são gerados nos nós de entradas da rede analítica, com base no volume de tráfego de entrada e nas distribuições dos *headways*. Entende-se por *headway* o comprimento do veículo somado ao intervalo até o veículo anterior (FHWA, 2004b).

Quando um veículo é gerado na malha, a ele e aos condutores são conferidos atributos como os mencionados a seguir.

- Atributos do veículo: tipo de veículo (automóvel, ônibus, caminhão etc.), comprimento, largura, aceleração e desaceleração máximas, velocidade máxima, máximo raio de giro, entre outros.
- Atributos do condutor: agressividade, tempo de reação, velocidade desejada, aceitação de brechas (para mudança de faixa, entrelaçamentos, cruzamento), destino (rota) e outros.

Com relação ao perfil dos condutores, conforme Turley (2007), para que seja possível a representação destes, bem como das características do veículo e da via, o modelo de microsimulação obedece a uma lógica, que é formada por uma série de regras e algoritmos.

De acordo com o FHWA (2004c), as regras e os algoritmos que formam esta lógica descrevem o modo como os veículos se comportam. O comportamento dos veículos em um modelo de microsimulação compreende acelerações, desacelerações, mudança de faixa e manobras de ultrapassagem. Os algoritmos trabalham também na definição do perfil de motoristas, que são representados no modelo, como mais ou menos agressivos.

De acordo com USDOT (2005), os modelos microscópicos simulam os movimentos dos veículos individuais baseados em três algoritmos básicos: *car-following* (comportamento dos motoristas ao seguirem o veículo à frente), *lane-changing* (modelando o comportamento desenvolvido nos processos de ultrapassagem) e *gap-acceptance* (focado no aproveitamento de brechas de tempo no fluxo de veículos).

O modelo de *car-following* no AIMSUN está baseado no modelo de Gipps (1981 e 1986). No Aimsun, os parâmetros do modelo

variam em função de diferentes fatores locais, tais como o tipo do motorista, a geometria da seção, a presença de outros veículos em faixas adjacentes, e as características dos veículos.

Barceló (2010) descreve que o modelo consiste de dois componentes: aceleração e desaceleração, se o veículo percorre livremente a via, ele tentará a máxima velocidade, de acordo com o veículo e a velocidade máxima da via. A desaceleração corresponde à limitação de seguir o carro líder. É assumido que os motoristas tendem a viajar na velocidade desejada em cada seção, mas que os veículos precedentes, adjacentes, os sinais de trânsito e obstáculos condicionam os comportamentos dos veículos.

O modelo *lane-changing* que o AIMSUN aplica foi desenvolvido por Gipps em 1986 e é um modelo baseado na decisão que formula três perguntas referentes a necessidade, desejabilidade e possibilidade da mudança de faixa.

A mudança de faixa ocorre, geralmente, de forma obrigatória nos casos de presença de obstáculos, realização de movimentos de conversão e ultrapassagem. O comportamento dos motoristas nestes casos é complexo; alguns reduzem a velocidade ao observar que um veículo ao lado deseja mudar de faixa, enquanto outros até aceleram para não permitir que este veículo entre na sua frente. Essas e muitas outras características, como o tempo de reação a uma determinada situação, variam de condutor para condutor e têm impacto direto no desempenho dos veículos (BARCELÓ, 2010).

O modelo *gap-acceptance* é usado para modelar comportamento de cessão do direito de passagem (give way). Este modelo determina se, para um veículo com baixa prioridade aproximando-se de uma interseção, o movimento de cruzamento da interseção pode ou não depender das condições de veículos de alta prioridade (posição e velocidade). Este modelo toma em conta a distância dos veículos para um ponto de colisão hipotético, suas velocidades e taxas de aceleração. Isto então determina o tempo necessário para desobstruir a interseção e produzir uma decisão que é também uma função do nível de risco aceito por cada condutor (AYALA e JACQUES, 2012).

Muitos parâmetros do veículo podem influenciar no comportamento do modelo de aceitação de gap, dentre eles a taxa de

aceleração, velocidade desejada, aceitação de velocidade e máximo tempo de give-way. Outros parâmetros, assim como a distância de visibilidade para a interseção e a velocidade de conversão, que são relacionados com a seção, podem também ter efeitos, mas os parâmetros do veículo são os mais importantes (TSS, 2012).

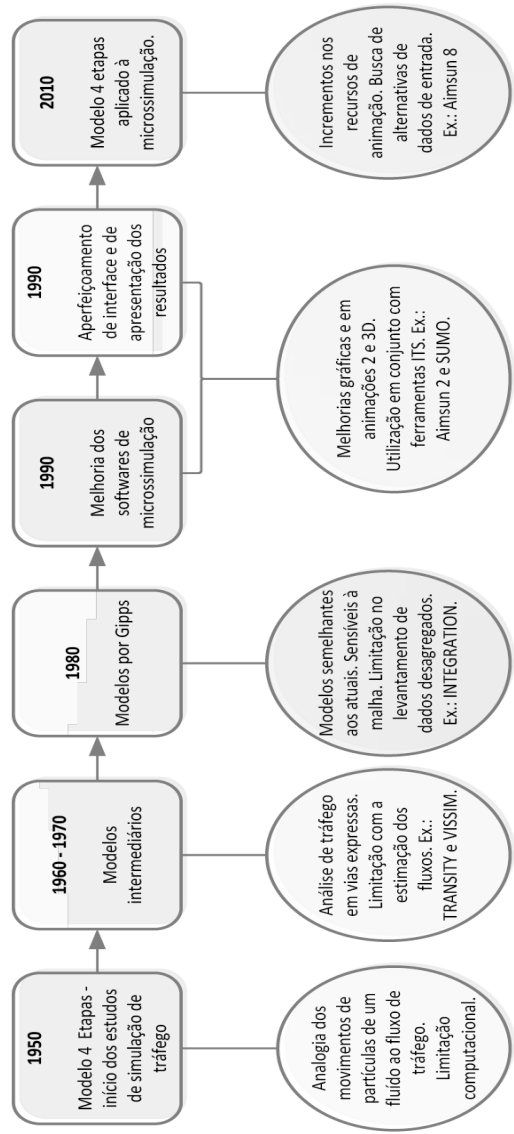
2.3.1.2 Modelos de microssimulação de tráfego

As ferramentas de planejamento de transportes têm seu progresso relacionado ao desenvolvimento econômico e tecnológico da sociedade. Portanto, além das demandas de transporte, a evolução dos softwares de microssimulação está atrelada ao incremento computacional. De acordo com MacNally (2007), os primeiros estudos de modelagem de transportes ocorreram no período pós Segunda Guerra Mundial, em detrimento do aumento da mobilidade dos indivíduos.

Desde o início da década de 1950 até os dias atuais, o desenvolvimento dos softwares de microssimulação vem sendo contemplado com importantes incrementos tecnológicos e se apresenta como decisivo nas políticas de planejamento de transporte.

A Figura 9 descreve de forma simplificada a evolução das características dos estudos de microssimulação, juntamente com alguns exemplos de microssimuladores, lançados nas décadas passadas.

Figura 9 – Cronologia dos estudos de microsimulação de tráfego



Fonte: RODRIGUES (2014)

Para Lacalle (2003), os simuladores, além de incorporarem os avanços tecnológicos, observam também conceitos da psicologia, a fim de melhor retratar o comportamento dos veículos e de seus condutores.

De acordo com Rodrigues (2014), existe uma série de softwares que realizam microssimulação de tráfego, os quais possuem diferentes abordagens. Há softwares comerciais, que precisam ter suas licenças de uso compradas, e os não comerciais, abertos à utilização dos usuários sem a necessidade de pagamento pela licença de uso. A seguir, estão descritos de forma sucinta alguns exemplos destes *softwares*:

- *Softwares* não-comerciais de microssimulação

Para estes softwares não há necessidade de pagamento pela licença, inclusive, esse tipo de programa permite ao usuário estudar as instruções e a forma de funcionamento. Objetiva-se com isso incrementar a área de pesquisa de tráfego através da avaliação dos próprios algoritmos. Como exemplo de microssimulador não comercial, podem ser citados o Multi-Agent Transport Simulation Toolkit (MATSim) e o Simulation of Urban Mobility (SUMO).

MATSim

Criado no final da década de 1990, o MATSim é um software de simulação resultante de um conjunto de esforços realizados por diferentes instituições e grupos de estudos de diversos países, trata-se de um software que segue a arquitetura das linguagens orientadas por objetos, baseada na simulação por agentes e atividades. Nele é possível a modelação de cenários com elevado nível de detalhamento, ou seja, cenários de microssimulação (MATSIM, 2014b).

SUMO

O desenvolvimento começou no ano de 2000, através do Institute of Transportation Research do German Aerospace Center, Centro Aeroespacial Alemão. A principal razão para o desenvolvimento de uma fonte aberta de simulação microscópica de trânsito foi a de apoiar a comunidade de pesquisa de tráfego, com um programa capaz de implementar e avaliar os próprios algoritmos (SUMO, 2013). Nesse microssimulador, cada veículo é modelado individualmente e tem o próprio trajeto, através da rede (BEHRISCH *et al.*, 2011).

- *Softwares* comerciais de microssimulação

Os *softwares* comerciais são desenvolvidos buscando satisfazer uma demanda ou oferecer uma nova ferramenta que auxilie na resolução de problemas existentes no mercado. Trata-se de programas comercializados através de licenças e que fornecem atualização e suporte aos seus clientes (RODRIGUES, 2014).

A seguir, são descritos alguns exemplos de *softwares* comerciais de microssimulação:

INTEGRATION

O *Integration* começou a ser desenvolvido na década de 1980 por Michael Van Aerde em seu trabalho de PhD na Universidade de Waterloo, no Canadá. O nome *Integration* deriva do fato de que o modelo integra certo número de capacidades únicas. A partir dos estudos de Michel Van Aerde, muito se avançou na área de modelagem de transporte, como exposto no Manual do Usuário *Integration* (2010).

O programa primeiramente integra alocação de tráfego e simulação microscópica e então associa a modelagem arterial dentro de uma lógica. Segundo o Manual do Usuário *Integration* (2010), o desenvolvimento do programa se pautou na busca por um modelo novo e integrado voltado aos problemas de controle de tráfego – em parte inspirado por teorias já desenvolvidas, como a de Robertson, entre outros autores.

VISSIM

O Vissim é um microssimulador multimodal, que teve seu estudo iniciado em meados da década de 1970 com a tese de PhD de Wiedemann, a qual descrevia o movimento de cada veículo de forma longitudinal, seguindo os preceitos do modelo *car-following*. Mas foi somente em 1992, após diversas pesquisas, que ocorreu o lançamento da primeira versão comercial do Vissim. Isso ocorreu na Alemanha, com a finalidade de analisar as possibilidades de controle das interseções sinalizadas (PTV, 2013).

Para a realização das microssimulações, esse software faz uso de três modelos matemáticos que interagem entre si: um representa os aspectos técnicos e físicos dos transportes; outro representa a geração de demanda, considerando pessoas e veículos no sistema; e o último consiste em um modelo que controla o trânsito com semáforos e regras de preferências (VISSIM, 2010).

O modelo de movimentação dos veículos do Vissim, assim como os outros simuladores mencionados, também utiliza a abordagem car-following para a orientação dos demais veículos. Nele, o motorista reconhece alterações no aparente tamanho de um veículo líder à medida que se aproxima dele. As diferenças de velocidade são percebidas através de alterações, observado o ângulo de visão (VISSIM, 2010).

AIMSUN

Por ser um software com uma ampla possibilidade de simulações e que aceita diversas formas de dados de entrada, o Aimsun versão 8 foi escolhido para ser usado como software de simulação de tráfego neste estudo. Outro fator importante que contribuiu para esta escolha é que a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans), possui a sua licença de operação.

AIMSUN (*Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks*) é um software de simulação de transportes que teve a sua origem nos anos 90, na Universidade Politécnica da Catalunha, Barcelona, Espanha. Com a evolução desta aplicação foi formada uma empresa *spin off*, a TSS – *Transport Simulation Systems*, tendo o AIMSUN, a partir daí, a forma de pacote de software comercial, atualmente encontra-se na versão v8.0 (FIGUEIREDO, 2013).

O AIMSUN fornece modelagem altamente detalhada do tráfego de rede, sendo capaz de fazer distinção entre os diferentes tipos de veículos e condutores, permitindo uma gama de traçados e geometria da rede, além de considerar possíveis incidentes, manobras conflitantes, entre outros (TSS, 2013a).

A abordagem de simulação microscópica do AIMSUN atende ao comportamento de cada veículo na rede, de forma contínua. Assim como a maior parte dos microsimuladores, o AIMSUN realiza suas simulações considerando a modelagem de comportamento do veículo, como o de perseguição (*car-following*), o de mudança de faixa (*change-lane*) e o de aceitação de brechas (*gap-acceptance*) (TSS, 2013b).

A microsimulação no AIMSUN é um processo discreto/contínuo combinado, ou seja, existem alguns elementos, como veículos e detectores, cujos estados podem mudar continuamente ao longo do intervalo de tempo da simulação. Esse período simulado pode

ser dividido em intervalos de tempo curtos e fixos, denominados ciclos de simulação ou etapas. Outros elementos, como sinais de trânsito e pontos de entrada, podem ser modificados de forma discreta, em pontos específicos na unidade de tempo da simulação (TSS, 2013b).

Além de permitir a atribuição de tráfego estático e dinâmico, o *software* se destaca por realizar tanto a abordagem mesoscópica, como a microscópica, podendo inclusive fazer a simulação híbrida, com as duas abordagens. O simulador híbrido combina um modelo mesoscópico e um microssimulador, considerando uma unidade de tempo, de modo a representar a dinâmica do trânsito em áreas em que a malha é menos densa (meso) e em outras em que é mais densa (micro) (TSS, 2013a).

O AIMSUN é um simulador dinâmico, capaz de criar e modificar cenários, partindo de um conjunto de parâmetros de simulação que definem o experimento, o qual será realizado através de cenários. Um cenário é composto por quatro tipos de dados: descrição de rede, planos de controle de tráfego, dados de demanda de tráfego e planos de transportes públicos. Todos esses dados podem ser editados, através do sistema, conforme os objetivos pretendidos.

De acordo com TSS (2013a) *apud* Rodrigues (2014), os parâmetros de simulação são valores fixos que descrevem uma experiência. Destaca-se que existem alguns parâmetros variáveis utilizados para calibrar os modelos, sendo exemplos desses parâmetros o tempo de reação e as mudanças de faixa a definição destes deve ocorrer conforme as necessidades do estudo realizado.

2.4 Calibração dos Modelos de Microssimulação

A calibração é o processo pelo qual os parâmetros do modelo são ajustados, a fim de reproduzir com maior precisão as condições de tráfego local e o comportamento dos condutores. A calibração do modelo é fundamental, pois aumenta a credibilidade do processo, com relação ao desempenho do tráfego para cenários futuros (RAJASAKRAN, 2008).

O objetivo da calibração é determinar os valores dos parâmetros cujas diferenças entre os resultados simulados e os observados em campo sejam minimizadas.

Os simuladores de tráfego mais utilizados na atualidade foram desenvolvidos em outros países e nem sempre atendem às necessidades do nosso perfil de tráfego, sendo necessária a calibração e validação dos seus parâmetros.

Os modelos de simulação microscópica contêm numerosos parâmetros independentes que são usados para descrever características do fluxo de tráfego, do comportamento do condutor e das operações de controle de tráfego. Estes modelos oferecem um valor *default* para cada parâmetro, porém para que um simulador possa reproduzir de forma satisfatória o tráfego real, é necessária uma calibração adequada ao invés de utilizar os valores *default* (HOURDAKIS *et al.*, 2003; TOLEDO e KOUTSOPOULOS, 2004).

De acordo com Ayala e Jacques (2012), devido a grande gama de parâmetros a calibração total torna o processo bastante complexo e dificulta sua realização. Uma das dificuldades enfrentadas pela maioria dos técnicos no uso destas ferramentas é, portanto, realizar essa calibração dentro das limitações de tempo e recursos disponíveis.

A calibração de simuladores de tráfego é frequentemente realizada por tentativa e erro, onde o êxito do processo depende da experiência do usuário, sendo este processo, além de lento, pouco eficiente (HOURDAKIS *et al.* 2003).

É característica dos simuladores microscópicos de tráfego a grande quantidade de parâmetros e não existe um consenso na literatura quanto a um procedimento único de calibração e validação destes modelos. Dessa forma, diante da infinidade das possíveis aplicações para os simuladores de tráfego, e por não existir uma metodologia universal de calibração desses simuladores, mas somente algumas diretrizes gerais que devem ser seguidas. Consequentemente a metodologia de calibração fica essencialmente a cargo de cada usuário do simulador (RAKHA *et al.*, 1996; HELLINGA, 1998 *apud* MEDEIROS, 2012).

De acordo com Ayala (2013), os parâmetros variação do tempo de reação (motorista), aceleração máxima, fator de sensibilidade, tempo de reação (rede), distância mínima entre veículos, tempo máximo de cessão de preferência são mais relevantes no processo de calibração e que devem ser ajustados. Em seu trabalho concluiu que o parâmetro

tempo de reação se destacou como maior importância no processo de calibração para 12 cenários. Este parâmetro foi identificado como influente e precisa de atenção na hora de eleição dos parâmetros a serem calibrados.

Muller (2013), descreve que os valores padrão do simulador são usados para a maioria dos parâmetros, com exceção do tempo de reação, aceleração e parâmetros do modelo *lane-changing*. Observou também, que o tempo de reação é o parâmetro que mais influência a capacidade nominal, enquanto a queda de capacidade depende principalmente da aceleração e desaceleração, se tornando maior conforme a desaceleração aumenta ou a aceleração diminui.

Como capacidade e queda de capacidade não podem ser definidos explicitamente no AIMSUN, mas são resultados da interação entre veículos, foi realizado um estudo de como os parâmetros do modelo de seguimento veicular afetam a capacidade e a queda de capacidade, conclui-se que os parâmetros mais adequados para o ajuste dessas grandezas são o tempo de reação dos veículos para o caso da capacidade e a aceleração dos veículos para a queda de capacidade (MULLER; CARLSON; KRAUS Jr., 2012).

Com base nos estudos revisados, observa-se um ponto importante, não há uma única metodologia que defina critérios e cite quais parâmetros devem ser calibrados, a fim de minimizar as diferenças entre os resultados de campo e os simulados. Portanto, cabe ao analista fazer a sua tomada de decisão a respeito de qual procedimento irá adotar para calibrar o microsimulador, avaliando quais os parâmetros que apresentam uma maior sensibilidade nesse processo.

2.5 Comparação entre o Método HCM e a Microsimulação

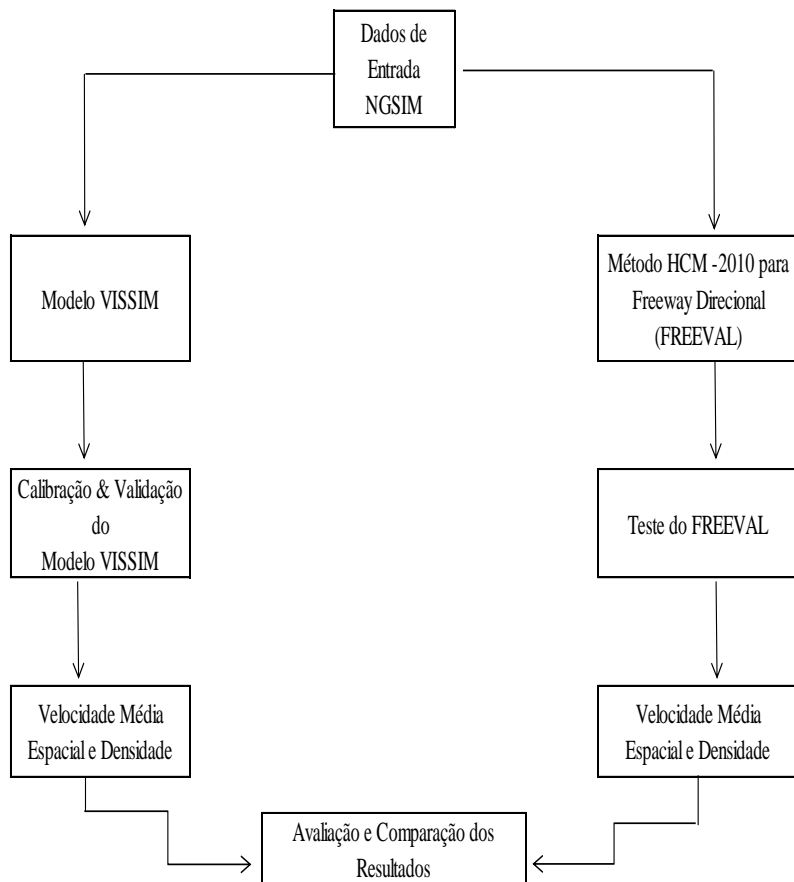
Há diversos estudos realizados por vários autores, com objetivo de realizar uma análise comparativa entre o método HCM e os programas de microsimulação, a fim de avaliar se determinadas características de tráfego apresentam correlação com o método HCM (JILLELLA; HOBEIKA, 2001; KOPPULA, 2002; BLOOMBER; SWENSON; HALDORS, 2003; JOLOVIC, 2012; MACEDO; BENTA; SANTOS, 2013).

Dentre os estudos pesquisados, destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Kopulla (2002) e Jolovic (2012) que apresentam informações extremamente relevantes como resultados quantitativos entre o método HCM e programas de microssimulação. As características de tráfego mais avaliadas nos respectivos estudos referem-se à densidade, velocidade média espacial e fluxo.

Jolovic (2012) desenvolveu um estudo a respeito do uso de microssimulação para avaliar a eficácia do método HCM-2010 para segmentos de entrelaçamento de freeway em condições de tráfego congestionado. O objetivo do estudo foi comparar as medidas de desempenho, de densidade e velocidade média espacial entre o método HCM-2010 e um modelo de microssimulação com o software VISSIM.

Para atingir objetivo do estudo, conforme ilustrado na Figura 10, Jolovic (2012) construiu um modelo de microssimulação baseado em dados de campo (*NGSIM – New Generation Simulation*) da rodovia americana US-101, realizou a calibração e a validação do modelo a fim de replicar as condições reais, e por último estabelecer uma análise computacional do mecanismo FREEVAL que é uma ferramenta suplementar do método HCM-2010.

Figura 10 – Fluxograma das etapas do estudo desenvolvido por Jolovic (2012).



Fonte: Adaptado de JOLOVIC (2012).

O quadro 4 apresenta os resultados alcançados no estudo de Jolovic (2012), que obteve as seguintes conclusões:

- As velocidades médias espaciais obtidas com o microssimulador não foram significativamente diferentes das velocidades de campo.
- As densidades obtidas com o microssimulador não foram significativamente diferentes das densidades de campo.

- As velocidades médias espaciais obtidas com o método HCM-2010 foram significativamente diferentes das velocidades médias espaciais obtidas a partir do microssimulador.
- As densidades obtidas com o método HCM-2010 foram significativamente diferentes das densidades obtidas a partir do microssimulador.

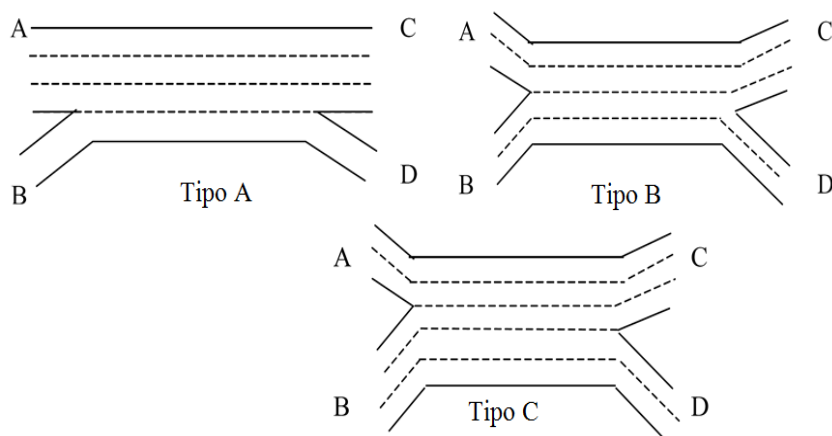
Quadro 4 – Resultados obtidos no estudo de Jolovic (2012)

Intervalo de Tempo	Segmento	Microsimulador VISSIM		Método HCM-2010 / FREEVAL		NGSIM Dados de Campo	
		Densidade (veh/mi/ln)	Velocidade (mi/h)	Densidade (veh/mi/ln)	Velocidade (mi/h)	Densidade (veh/mi/ln)	Velocidade (mi/h)
7:50 - 8:05	Básico	64,00	25,00	33,90	59,50	79,50	20,56
	Entrelaçamento	57,67	24,00	34,30	51,50	60,82	23,60
	Básico	65,40	25,00	36,20	58,00	54,00	31,28
8:05 - 8:20	Básico	72,00	20,48	28,40	62,90	87,11	17,42
	Entrelaçamento	65,00	20,09	30,10	52,30	68,55	19,49
	Básico	69,40	22,29	30,20	61,90	73,60	21,16
8:20 - 8:35	Básico	80,60	17,26	31,40	61,20	93,90	15,19
	Entrelaçamento	70,80	17,57	32,40	51,90	75,48	16,79
	Básico	76,12	19,21	33,90	59,90	78,20	18,90

Fonte: Adaptado de JOLOVIC (2012).

Kopulla (2002) realizou um estudo comparativo entre os programas de microssimulação TRANSIMS, CORSIM, VISSIM e INTEGRATION e o método HCM-2000 para áreas de entrelaçamento. O método HCM-2000 foi tomado como base para a comparação dos programas de microssimulação, considerando para as análises diferentes áreas de entrelaçamento, denominadas de tipo A, B e C, conforme ilustrado na Figura 11. Os programas foram calibrados através da realização de uma análise de sensibilidade, tendo os resultados do método HCM como base, a fim de avaliar qual o modelo de microssimulação apresentasse melhores resultados com relação ao HCM.

Figura 11 – Áreas de entrelaçamento tipo A, B e C consideradas no estudo de Kopulla, (2002)



Fonte: KOPULLA (2012).

As características de tráfego avaliadas no estudo de Kopulla (2002) para as diferentes áreas de entrelaçamento foram densidade na seção de entrelaçamento, as velocidades de entrelaçamento e de não entrelaçamento. Os resultados obtidos no seu estudo conforme apresentado a seguir no quadro 5, mostraram as seguintes conclusões:

- **Configuração Tipo A:** Os programas de microssimulação apresentaram um bom desempenho nos resultados das velocidades nas seções de entrelaçamento em comparação com o HCM-2000. As densidades obtidas nos programas de microssimulação

foram mais baixas que as obtidas com o método HCM-2000.

- Configuração Tipo B: Os resultados obtidos com o CORSIM indicaram valores de velocidade de não entrelaçamento elevados e velocidades de entrelaçamento com valores mais baixos comparados com o HCM-2000, quanto às densidades constatou-se que na medida em que aumenta o fluxo na seção de entrelaçamento os valores de densidades tendem a serem inferiores aos calculados pelo HCM-2000. Quanto ao VISSIM verificou-se valores de velocidades de entrelaçamento e não entrelaçamento superiores, e de densidade inferiores em comparação com o HCM-2000. Os valores de velocidade de entrelaçamento e não entrelaçamento obtidos com INTEGRATION foram inferiores aos do HCM-2000. Quanto ao TRANSIMS os resultados indicaram valores inferiores de velocidade de entrelaçamento e superiores de não entrelaçamento, já os valores de densidade ficaram próximos ao HCM-2000.
- Configuração Tipo C: Os resultados com o CORSIM indicaram valores de velocidade de entrelaçamento mais baixos e velocidades de não entrelaçamento com valores próximos ao HCM-2000. As densidades nas situações de congestionamento apresentaram valores mais baixos, e nas situações sem congestionamento valores superiores aos obtidos com o HCM-2000. Para o VISSIM a configuração tipo C apresentou o mesmo comportamento que a configuração tipo B. O INTEGRATION apresentou valores de densidade próximos aos calculados pelo HCM-2000. O TRASIMS os valores de velocidade de entrelaçamento e não entrelaçamento apresentaram valores muito próximos aos calculados pelo método HCM-2000, mas as densidades obtidas foram baixas.

Quadro 5 – Resultados obtidos no estudo de Kopulla (2002)

TIPO	Parâmetros	HCM Sem congestionamento	CORSIM Sem congestionamento	VISSIM Sem congestionamento	INTEGRATION Sem congestionamento	TRANSIMS Congestionamento
A	Tipo de Operação					
	Fluxo total	5000	6350	7700	8300	7800
	% de Veículos no entrelaçamento	18	19,7	20,8	24,1	38,5
	Velocidade de não entrelaçamento (mph)	54,00	60,77	56,47	58,73	57,50
	Velocidade de entrelaçamento (mph)	44,25	51,03	47,70	43,58	44,31
B	Velocidade média (mph)	51,95	58,75	57,15	55,16	55,13
	Densidade (veh/mi/la)	24,06	21,3	14,42	22,67	22,19
	Fluxo total	5588	6600	7200	8500	7300
	% de Veículos no entrelaçamento	35,70	39,40	40,30	41,20	72,60
	Velocidade de não entrelaçamento (mph)	52,83	60,57	66,53	47,63	59,76
C	Velocidade de entrelaçamento (mph)	48,37	37,80	64,85	39,30	49,28
	Velocidade média (mph)	51,14	52,91	61,86	44,21	56,80
	Densidade (veh/mi/la)	27,32	23,75	14,02	30,33	23,26
	Fluxo total	7500	8650	4150	5750	6950
	% de Veículos no entrelaçamento	6,7	7,5	42,2	44,3	42,4
	Velocidade de não entrelaçamento (mph)	62,95	58,24	35,26	49,51	62,11
	Velocidade de entrelaçamento (mph)	51,28	34,66	12,93	40,19	54,30
	Velocidade média (mph)	62,01	49,48	37,28	46,67	61,84
	Densidade (veh/mi/la)	24,19	29,75	34,06	28,53	10,82

Fonte: Adaptado de KOPULLA (2002).

No estudo desenvolvido por Bloomber *et al.* (2003) foi realizado uma comparação dos programas de microssimulação CORSIM, INTEGRAÇÃO, MITSIMLab, Paramics, VISSIM, e WATSIM e o método HCM. Objetivo do estudo desenvolvido buscou avaliar quais programas apresentam melhores resultados na simulação, e também verificar a correlação dos seus resultados com o método HCM. As características de tráfego avaliadas no estudo foram densidade e velocidade.

Os resultados obtidos por Bloomber *et al.* (2003) conforme apresentado nos quadros 6 e 7, mostraram que os 6 (seis) programas foram capazes de corresponder razoavelmente bem os resultados do HCM, quanto as velocidades e as densidades. Embora os programas de simulação não forneçam o nível de serviço para a *freeway*, os respectivos valores de densidade obtidos foram correlacionados nos quadros do método HCM-2000 que correlacionam densidade com nível de serviço, com a finalidade de poder efetuar a comparação.

Quadro 6 – Resultados de densidade e nível de serviço obtidos no estudo de Bloomber *et al.* (2003)

Programas	HCM	COR SIM	INTE GRATION	MITSIMLab (pc/mi/ln)	PARAMICS (pc/mi/ln)	VISSIM (pc/mi/ln)	WATSIM (pc/mi/ln)
Densidade	D (pc/mi/ln)	D (pc/mi/ln)	D (pc/mi/ln)	D (pc/mi/ln)	D (pc/mi/ln)	D (pc/mi/ln)	D (pc/mi/ln)
Segmento 1	28,5	25,0	27,0	28,5	31,0	26,6	30,5
Segmento 2	31,7	30,0	32,8	35,0	35,8	31,5	34,0
Segmento 3	26,4	24,2	27,2	28,0	30,0	25,0	26,0
Segmento 4	30,3	26,0	33,5	32,0	33,0	27,0	30,5
Nível de Serviço	LOS	LOS	LOS	LOS	LOS	LOS	LOS
Segmento 1	D	C	D	D	D	C	D
Segmento 2	D	D	D	D	E	D	D
Segmento 3	D	C	D	D	D	C	C
Segmento 4	D	D	D	D	D	D	D

Fonte: BLOOMBER *et al.* (2003)

Quadro 7 – Resultados de velocidade obtidos no estudo de Bloomer *et al.* (2003)

Programas	HCM	COR SIM	INTE GRATION	MITSIMLab	PARAMICS	VISSIM	WATSIM
Velocidade	S (mi/h)	S (mi/h)	S (mi/h)	S (mi/h)	S (mi/h)	S (mi/h)	S (mi/h)
Segmento 1	53,9	57,0	52,5	51,0	52,0	58,0	55,0
Segmento 2	54,1	54,1	49,5	49,0	50,0	55,0	52,3
Segmento 3	54,0	58,0	55,0	54,1	52,0	57,0	56,0
Segmento 4	53,7	53,0	52,0	51,0	50,0	56,0	54,5

Fonte: BLOOMBER *et al.* (2003)

Macedo *et al.* (2003), tentaram desenvolver uma metodologia de avaliação dos níveis de serviço utilizando o método HCM e o microssimulador AIMSUN para *freeways* em Portugal. O objetivo principal do estudo era adaptação do HCM, utilizando microssimulador AIMSUN a fim de verificar se é capaz de representar a influência da largura das vias, desobstrução lateral do acostamento, composição do tráfego e inclinação do greide. O estudo realizado concluiu que foi possível verificar no microssimulador AIMSUN a influência dos veículos pesados no desempenho da corrente de tráfego é passível de modelação, porém o efeito da inclinação do greide e da consequente redução da velocidade dos veículos pesados não se encontra devidamente representado, uma vez que os resultados são muito semelhantes aos obtidos para o caso do greide sem inclinação longitudinal.

A diferença fundamental entre os modelos de microssimulação e o método HCM, é que a microssimulação é baseada em três algoritmos básicos: *car-following*, *lane-changing* e *gap-acceptance*, enquanto o HCM segue o modelo de Greenshields.

FHWA (2014) cita em sua recomendação que as metodologias do HCM e os procedimentos apresentam uma abordagem estática para prever o desempenho do tráfego enquanto os modelos de microssimulação apresentam uma abordagem dinâmica. O HCM estima a densidade média, velocidade, ou atraso sobre o pico de 15 minutos de uma hora, enquanto os modelos de microssimulação preveem densidade, velocidade e demora para cada intervalo de tempo dentro do período de análise. Não só existem diferenças de abordagem, existem diferenças nas definições das medidas de desempenho fornecidos pelos modelos de microssimulação e as ferramentas do método HCM. Algumas das diferenças mais notáveis incluem:

- Os modelos de microssimulação relatam o atraso apenas no segmento de via onde os veículos são retardados, enquanto o HCM relata todo o atraso causado por um determinado gargalo (independentemente da localização física real dos veículos).
- Os modelos de microssimulação relatam filas apenas no segmento de via onde os veículos estão, na verdade, em fila,

enquanto o HCM relata todos os veículos em fila de espera causadas por um determinado gargalo (independentemente da localização física real dos veículos).

- Os modelos de microsimulação não necessariamente relatam o atraso de controle nos cruzamentos semaforizados. Os valores apresentados incluem atrasos de meio da quadra para veículos que viajam ao longo do percurso, ou atraso só parado no sinal de trânsito.
- Os modelos de microsimulação relatam a densidade de veículos reais, enquanto o método HCM relata densidade em termos de veículos de passageiros equivalentes (caminhões e outros veículos pesados são contados mais de uma vez no cálculo da densidade).
- Os modelos de microsimulação relatam os fluxos de veículos em termos de veículos reais, enquanto o método HCM relata capacidade de *freeways* e rodovias em termos de equivalentes de carros de passeio.

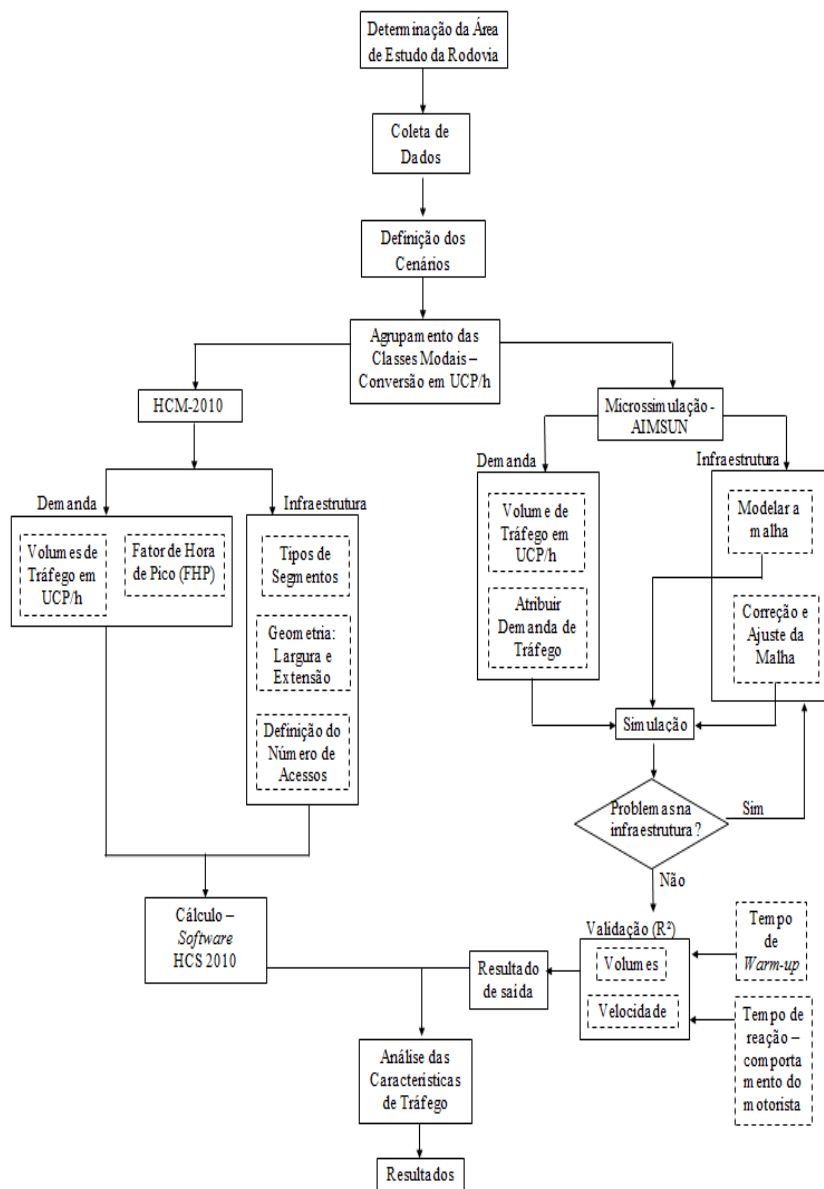
De acordo com as respectivas diferenças citadas anteriormente pela FHWA (2014) entre os modelos de microsimulação e o método HCM, destaca-se como relevante para o respectivo estudo os itens que tratam de densidade e fluxo. Os modelos de microsimulação relatam as respectivas características em termos de veículos reais, já o método HCM relata em carros de passeio.

3 MÉTODO

Este capítulo apresenta a proposta de um método que dê suporte à elaboração do presente estudo. O método baseia-se na literatura e implantado com a utilização do método HCM-2010 e o microssimulador de tráfego AIMSUN.

Para o emprego do método HCM-2010 e da microssimulação de tráfego com o *software* AIMSUN, uma série de procedimentos precisa ser realizado. O método sugerido considera esses procedimentos através da aplicação das etapas apresentadas na Figura 12.

Figura 12 – Fluxograma do método da pesquisa



Fonte: Dados do autor (2014)

3.1 DETERMINAR A ÁREA DE ESTUDO

O primeiro passo é a determinação da área de estudo para o desenvolvimento da pesquisa. Na determinação da área de estudo, precisam ser observadas as características da malha viária, como a infraestrutura e a organização espacial.

3.2 COLETAR OS DADOS

Essa etapa consiste no levantamento de dados para o desenvolvimento da pesquisa. Para melhor operacionalização a presente etapa foi dividida em duas partes, uma considera o levantamento de dados referente ao tráfego e a outra os dados de infraestrutura da malha viária.

Os dados referentes ao tráfego foram obtidos por meio de contagens volumétricas classificatórias em postos de contagens fixados na rodovia. O planejamento da quantidade de postos de contagem de tráfego e a sua respectiva localização, considerou também os acessos de entrada e saída da rodovia. Para a execução das contagens de tráfego, utilizou-se equipamento de contagem que opera por microondas, permitindo aquisição automática das informações.

Os dados referentes à infraestrutura observam aspectos de geometria da malha viária, tais como dimensões da seção transversal da pista (largura de faixa de rolamento e acostamento), localização e número dos acessos de entrada e saída, tipo do relevo, limites de velocidade da rodovia e dos acessos e extensão.

3.3 DEFINIR OS CENÁRIOS

A definição de diferentes cenários permite avaliar o comportamento do tráfego mediante diferentes situações, tais como; para variados períodos do dia, mudanças no tempo e volume de tráfego (PORTUGAL, 2005).

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foram definidos cenários para aplicação do método HCM-2010 e do microssimulador de tráfego AIMSUN. Os cenários foram definidos em função da hora de maior volume de tráfego da rodovia.

3.4 VOLUME DE TRÁFEGO EQUIVALENTE

Essa etapa consiste em agrupar todas as classes de veículos identificadas nas contagens volumétricas de tráfego, tais como; motos, veículos de passeio, ônibus e caminhões, e transformá-las em uma única classe, em unidade de carro de passeio (UCP), a fim de aplicar nos respectivos métodos do estudo dessa pesquisa.

A transformação das diferentes classes modais em unidades de carros de passeio é realizada por meio de fatores de conversão, pesquisados na literatura.

3.5 UTILIZAR O HCM-2010

A respectiva etapa consiste na utilização do método do Manual de Capacidade de Rodovias, *Highway Capacity Manual* (HCM-2010), para o cálculo de determinadas características de tráfego.

3.5.1 Modelar a demanda de tráfego

A modelagem da demanda de tráfego no método HCM-2010 é feita a partir dos dados obtidos nas contagens para a hora de maior volume de tráfego. Os dados de volume de tráfego utilizados são convertidos em unidades de carros de passeio conforme descrito na seção 3.4, não sendo necessário atribuir a porcentagem de veículos pesados para cálculo do fator de ajustamento e posterior correção do volume.

O fator de hora de pico é obtido em literatura, em função das contagens serem realizadas em intervalos de uma hora.

3.5.2 Modelar a infraestrutura

Nesta etapa, da modelagem da infraestrutura é avaliado os tipos de segmentos existentes na rodovia, conforme preconiza o manual de capacidade de rodovias e também a geometria da malha viária.

Os segmentos a serem identificados podem se dividir nos seguintes tipos, básicos de *freeway*, entrelaçamento e de rampas de entrada e saída. Após identificação, o trecho é segmentado em função das características de cada segmento, levando em consideração a sua respectiva área de influência.

Quanto a geometria, são avaliados os elementos de largura da seção transversal (pista e acostamento), número de faixas, de acessos de entrada e saída e a velocidade limite da rodovia e dos acessos.

3.5.3 Cálculo HCM-2010

Essa etapa consiste em aplicar o método de cálculo contido no Manual de Capacidade de Rodovias (HCM-2010), volume 2 fluxo ininterrupto, para os segmentos básicos de *freeway*, entrelaçamento e de rampas de entrada e saída.

Para facilitar o procedimento de cálculo é utilizado o *software* HCS-2010 do Laboratório de Logística e Transportes – LABTRANS, da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.6 UTILIZAR O MICROSSIMULADOR DE TRÁFEGO

Para a microsimulação de tráfego é utilizado o *software* AIMSUN (*Advance Interactive Micro-Simulation for Urban and Non-Urban Networks*) na versão 8.0, desenvolvido pela empresa Transport Simulation Systems (TSS) do Laboratório de Transportes e Logística – LABTRANS, da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.6.1 Modelar a demanda de tráfego

A modelagem da demanda de tráfego no microsimulador refere-se aos dados de volume de tráfego, sendo que os mesmos foram tratados conforme descrito na seção 3.4.

3.6.1.1 Atribuir uma demanda de tráfego

Para que seja simulado, é necessário atribuir a cada cenário uma demanda de tráfego. Os dados de demanda de tráfego foram modelados utilizando a função de estados de tráfego, que considera o controle do fluxo que passa em todas as seções da malha dentro do cenário analisado.

3.6.2 Modelar a infraestrutura

Na modelagem da infraestrutura é importante observar os detalhes da malha viária presente na área de estudo. Ferramentas como o Google Earth e Google Street View podem auxiliar muito nessa etapa.

A modelagem da infraestrutura foi realizada com as ferramentas de desenho da malha viária do AIMSUN. Para facilitar o desenho de modelagem da rodovia, utilizou-se uma imagem da plataforma do Google Earth, com sistema de referência WGS 84. Para deixar a imagem georeferenciada em coordenadas UTM utilizou-se o software Global Mapper 13.

Os principais elementos existentes na malha viária precisam ser representados no modelo, tais como: sentido dos fluxos, possibilidade e impossibilidade de conversão, limites de velocidade.

Para fins de avaliação, a fim de poder obter os resultados para os mesmos segmentos atribuídos pelo método do HCM-2010, teve-se que segmentar no AIMSUN os mesmos segmentos, a respectiva segmentação é procedida utilizando a ferramenta de corte de seções no menu do *software*.

3.6.3 Executar a simulação

O processo de simulação considera separadamente os diferentes cenários determinados nas etapas iniciais do método. Para realizar a simulação é necessário observar as características do software utilizado, no caso deste estudo o AIMSUN 8. Sendo assim, um evento é criado representando cada um dos cenários que se deseja simular, a partir deste evento é rodada uma ou mais replicações, que consistem em microsimulações de tráfego, com resultados estocásticos.

Portanto os cenários de microsimulação de tráfego são simulados através de replicações, cada replicação busca representar a aleatoriedade de um evento. De modo que, é importante considerar mais de uma replicação para cada cenário, no sentido de alcançar resultados mais representativos, para tanto é possível realizar a média das replicações (TSS, 2013).

3.6.3.1 Ajustes

Ao realizar a simulação é possível a verificação de algum tipo de problema de infraestrutura na malha, que possa vir a prejudicar os resultados oriundos da replicação. Quando identificado algum tipo de problema, a modelagem da malha precisa ser examinada novamente, ajustada e corrigida até que todos os problemas sejam corrigidos e seja possível alcançar os resultados pretendidos.

Erros na modelagem da malha como seções soltas, final de seção desconexo a algum centróide, ou conectado a mais de um centróide e velocidades não compatíveis, podem impedir que a simulação ocorra, ou até mesmo que gere resultados inconsistentes. Evidenciando a importância da realização de correção e ajustes.

Reparados os problemas identificados na malha, a execução das replicações permite verificar os pontos de gargalo, as formações de filas, os cruzamentos problemáticos, dentre outras características da malha viária e do comportamento do fluxo de tráfego. O que pode gerar a necessidade de novos ajustes na malha, tais como mudanças de sentido, possibilidade de conversão, de sinais de preferência, entre outros capazes de facilitar a fluidez do tráfego.

Uma vez realizados esses ajustes, a nova situação deve ser verificada através de outra simulação. Logo, quando realizadas as melhorias e mudanças oportunas para o plano, a simulação precisa ser realizada novamente, a fim de averiguar se o nível de eficiência desejado foi alcançado.

3.6.4 Validar os cenários

A validação dos resultados é feita por meio do coeficiente de determinação (R^2), a partir dos resultados de saída da simulação comparando com os resultados medidos em campo.

Os resultados medidos em campo e utilizados na validação dos cenários, referem-se aos volumes de tráfego obtidos nos postos de contagens, denominados de detectores no AIMSUN, convertidos em UCP e também aos valores de velocidade média para a hora de maior volume de tráfego.

Os respectivos resultados de campo são armazenados no microssimulador por meio do conjunto de dados reais, arquivos formatados na extensão “txt”, e que apresentam as seguintes informações:

- Identificação do nome do detector de tráfego (posto de contagem);
- Volume de tráfego de veículos convertidos em carros de passeio; e,
- Velocidade média dos veículos no intervalo de 1 hora.

Nesta etapa de validação dos resultados, também é verificado a influência da variação do tempo de aquecimento (*warm-up*) e reação ligado ao comportamento do motorista nos resultados do coeficiente de determinação (R^2).

3.6.5 Processar arquivo de saída

No final da validação dos resultados o microssimulador gera um arquivo de saída, com diversas informações. Para o desenvolvimento do estudo as informações a serem analisadas são as características de tráfego de densidade, velocidade e fluxo.

O acesso do arquivo de saída dos resultados da microssimulação foi realizado com o *SQLite Manager* que é uma extensão para o navegador *Mozilla Firefox*.

3.7 ANALISAR AS CARACTERÍSTICAS CÁLCULADAS

Nesta etapa, objetiva-se analisar as características de tráfego calculadas pelo HCM-2010 e o microssimulador AIMSUN.

3.8 RESULTADOS

Diante da análise das características de tráfego; densidade, velocidade e fluxo citadas no item anterior, pode-se concluir se os resultados obtidos com o método HCM-2010 apresentaram correlação com a microssimulação, avaliando o coeficiente de determinação (R^2).

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO NA ÁREA DE ESTUDO

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho, situa-se no Estado de Santa Catarina e refere-se a rodovia Federal BR-282/SC. Esta limita-se ao trecho das Pontes Governador Colombo Machado Sales e Pedro Ivo Campos até a interseção da rodovia BR-101/SC, segmento compreendido entre os kms 0 ao km 6,020, conforme ilustrado na Figura 13.

O segmento rodoviário é conhecido como “Via Expressa”, ligando Florianópolis primeiramente ao município de São José e, posteriormente, até a interseção com a BR-101/SC.

Quanto a geometria da rodovia esta apresenta uma extensão de 6,020 km, em pista dupla, separadas por canteiro central com largura variável de 3,00 a 5,00 metros. Cada pista comporta duas faixas de tráfego com 3,60 metros de largura, mais acostamento externo com 2,50 m de largura, não dispondo de acostamentos internos, sendo que a plataforma implantada tem, em média, 25,40 metros de largura.

Com o passar dos anos e a rápida expansão imobiliária de São José, em associação com o crescimento exponencial da frota de veículos na região da Grande Florianópolis, a rodovia foi perdendo a característica de via rápida, passando à indesejável saturação dos fluxos em horários de pico, já na metade dos anos 90.

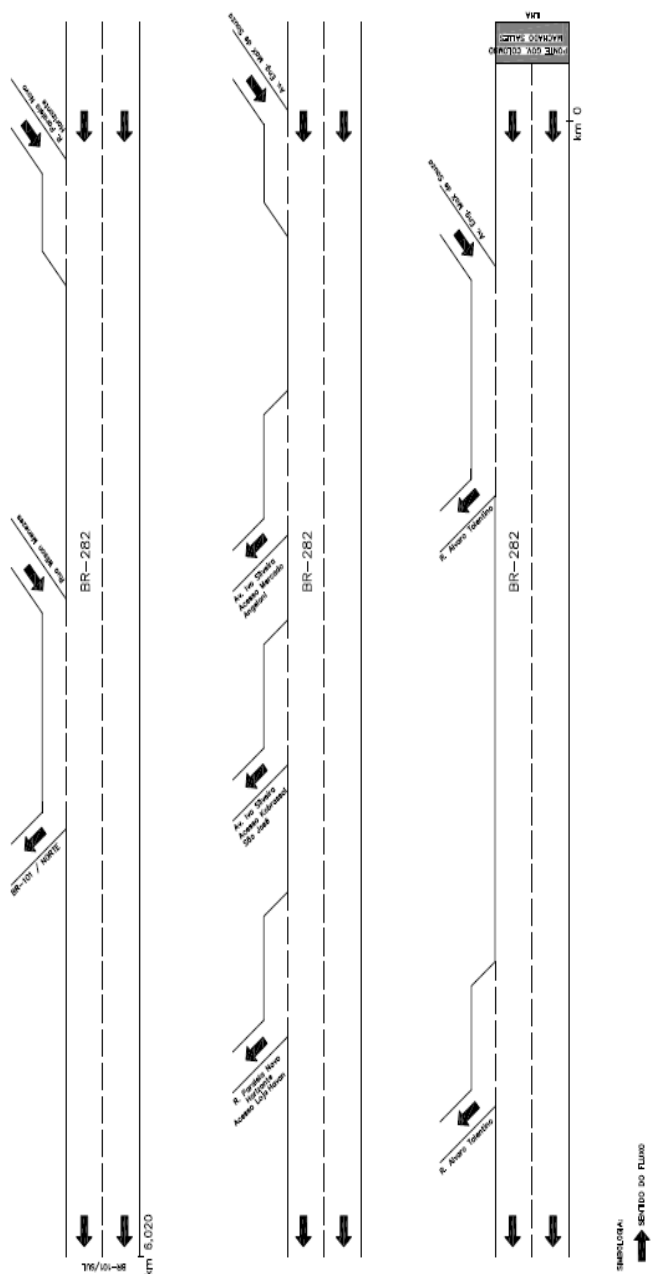
Figura 13 – Localização da área de estudo



Fonte: Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia Ltda

A seguir nas Figuras 14 e 15 é apresentado um *layout* desenvolvido com *software* AutoCad, com os detalhes da área de estudo da rodovia BR-282, nos sentidos Ilha – BR-101 e BR-101 – Ilha.

Figura 14 – Layout da área de estudo, BR-282, sentido: Ilha – BR-101



4.2 DADOS DE CAMPO

Os dados para o desenvolvimento da pesquisa referem-se ao tráfego (volume de tráfego e velocidade média) e a geometria para a rodovia em estudo. A seguir será detalhado o procedimento realizado para a seleção de cada uma destas informações.

4.2.1 Contagem de Tráfego

As contagens de tráfego foram realizadas na rodovia BR-282/SC (“Via Expressa”), no sentido Ilha – BR-101 e BR-101 – Ilha na pista principal, nos acessos de entrada e saída, nas interseções, e na rodovia BR-101/SC que tem ligação principal com a Via Expressa, para o tráfego de veículos oriundos do Sul e do Norte do Estado.

As contagens de tráfego e medição de velocidade média foram realizadas pela empresa DBA Tecnologia LTDA, utilizando equipamento de contagem automática com microondas, para o Estudo de Tráfego e Capacidade referente ao projeto de Elaboração de Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental – EVTEA e Projeto Executivo de Engenharia de Melhoramentos Físicos e Operacionais, visando a adequação para aumento da Capacidade e Segurança da Rodovia BR-282/SC, e utilizadas no desenvolvimento dessa pesquisa.

4.2.1.1 Localização dos postos, dados da contagem e velocidade

Os postos de contagem foram instalados num total de 56 ao longo da área de estudo, de modo a caracterizar o tráfego na rodovia.

As contagens de tráfego foram efetuadas nos anos de 2010, 2011, 2012 e 2014, respectivamente em 2, 7, 4 e 43 postos, com período de 1 (um) dia, 3 (três) dias e 7 (sete) dias com duração de 24 horas. As aquisições dos dados de contagem de tráfego realizadas pelos equipamentos foram feitas com a classificação dos veículos a partir do seu intervalo de comprimento, conforme apresentado no quadro 8, e registrados em intervalos de 1 hora.

Os dados de velocidades foram medidos no ano de 2014, e registrados a cada 1 hora, considerando a média da velocidade dos veículos nesse intervalo de tempo.

Quadro 8 - Classificação dos Veículos por Intervalos de Comprimento Classe de Veículo (m)

Classe de Veículo	Comprimento (m)	
	Mínimo	Máximo
Motos / Outros	0,50	2,40
Carros de Passeio	2,50	7,00
Caminhões Leves	7,10	15,00
Caminhões Pesados	15,10	20,00
Veículos Especiais	20,10	99,00

Fonte: DBA Tecnologia

4.2.1.2 Projeção para o ano base

O cálculo dos fatores de expansão entre os meses do ano e entre os dias da semana não foi realizado em função de não se dispor de uma série histórica de dados de contagens que pudesse fornecer dados de tráfego para o cálculo da correção dos volumes.

O estudo objetiva avaliar o cenário para o ano de 2014, condição atual da rodovia, sendo assim, os dados nos anos de 2010, 2011 e 2012 foram tratados através de taxa de crescimento de tráfego para o ano base de 2014 (43 postos). Portanto, os 56 postos foram analisados com Volume Médio Diário para 2014.

O Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre, recomenda que na ausência de estudo sócioeconômico para definição da taxa de crescimento, o estudo de tráfego e capacidade adote o valor de crescimento de frota de 3% a.a. (Manual de Estudo de Tráfego - DNIT, 2006, p. 234):

“A experiência mostra que o tráfego costuma crescer a taxas de crescimento anuais de variação relativamente lenta. Ultimamente tem sido comum adotar, à falta de informações de variáveis socioeconômicas, uma taxa de crescimento anual de 3%, próxima da taxa de crescimento econômico do país como um todo”.

O estudo adotou a taxa de crescimento de tráfego como sendo de 3 % a.a, em função ausência de informações específicas de taxas de crescimento da região do estudo, definidas por estudo sócio-econômico.

4.2.1.3 Definição da hora de maior volume de tráfego

Para a avaliação da condição de operação da rodovia em estudo para fins de verificação de capacidade e nível de serviço e microsimulação adotou-se a hora de maior volume de tráfego. Para definição da respectiva hora, tornou-se necessário eleger contadores de referência, ou seja, contadores de tráfego principais para definição do período de hora com maior registro de volume de tráfego.

Os contadores de tráfego localizados próximo ao mercado BIG / Loja da Havan e da empresa DIGITRO na rodovia em estudo, conforme ilustrados nas Figuras 16 e 17, denominados respectivamente de (d411/d412) e (d511/d512) foram selecionados para a definição da hora de maior volume de tráfego, por serem os únicos postos localizados na rodovia que apresentarem um série histórica de 7 (sete) dias 24 horas.

Figura 16 – Posto de Contagem próximo ao BIG/HAVAN (d411/d412)



Fonte: Autor (2014)

Figura 17 – Posto de Contagem próximo a DIGITRO (d511/d512)



Fonte: Autor (2014)

Os quadros 9 e 10 apresentam os valores do volume diário (VD) do tráfego para os postos de referência adotados na definição da hora de maior movimento. Para a definição da hora de maior movimento, levou-se em consideração a evolução do tráfego ao longo do dia para ambos os sentidos de ida e volta da Ilha – BR-101. Nesse cenário desprezou-se os volumes contados no sábado, domingo, segunda e sexta-feira, conforme ilustra-se nos gráficos 1 e 2 os volumes totais do tráfego.

Quadro 9 – VD para os contadores de referência (Sentido: BR-101 – Ilha)

Horário		BIG - d412	DIGITRO - d512	VD médio
		VD – ano de 2012	VD – ano de 2012	
00:00:00	01:00:00	339	202	271
01:00:00	02:00:00	184	113	149
02:00:00	03:00:00	126	81	104
03:00:00	04:00:00	144	124	134
04:00:00	05:00:00	264	264	264
05:00:00	06:00:00	806	751	779
06:00:00	07:00:00	2.906	3.239	3.073
07:00:00	08:00:00	1.941	1.850	1.896
08:00:00	09:00:00	2.203	1.833	2.018
09:00:00	10:00:00	2.542	2.289	2.416
10:00:00	11:00:00	3.120	2.977	3.049
11:00:00	12:00:00	2.895	2.947	2.921
12:00:00	13:00:00	2.957	3.105	3.031
13:00:00	14:00:00	3.054	2.897	2.976
Horário		BIG - d412	DIGITRO - d512	VD médio
		VD – ano de 2012	VD – ano de 2012	
14:00:00	15:00:00	3.124	3.310	3.217
15:00:00	16:00:00	3.210	3.107	3.159
16:00:00	17:00:00	3.153	2.973	3.063
17:00:00	18:00:00	3.373	3.227	3.300
18:00:00	19:00:00	3.013	3.175	3.094
19:00:00	20:00:00	2.772	2.623	2.698
20:00:00	21:00:00	2.123	1.909	2.016
21:00:00	22:00:00	1.933	1.734	1.834
22:00:00	23:00:00	1.380	1.085	1.233
23:00:00	24:00:00	633	387	510

Quadro 10 – VD para os contadores de referência (Sentido: Ilha – BR-101)

Horário		BIG - d411	DIGITRO - d511	VD médio
		VD – ano de 2012	VD – ano de 2012	
00:00:00	01:00:00	575	668	622
01:00:00	02:00:00	242	243	243
02:00:00	03:00:00	169	176	173
03:00:00	04:00:00	118	107	113
04:00:00	05:00:00	153	169	161
05:00:00	06:00:00	378	407	393
06:00:00	07:00:00	1.375	1.506	1.441
07:00:00	08:00:00	3.213	3.503	3.358
08:00:00	09:00:00	2.821	3.100	2.961
09:00:00	10:00:00	3.061	3.124	3.093
10:00:00	11:00:00	3.289	3.124	3.207
11:00:00	12:00:00	3.456	3.201	3.329
12:00:00	13:00:00	3.467	3.517	3.492
13:00:00	14:00:00	3.632	3.712	3.672
14:00:00	15:00:00	3.699	3.764	3.732
15:00:00	16:00:00	3.796	3.923	3.860
16:00:00	17:00:00	3.803	3.789	3.796
17:00:00	18:00:00	3.524	3.391	3.458
18:00:00	19:00:00	3.042	3.175	3.109
19:00:00	20:00:00	3.198	3.480	3.339
20:00:00	21:00:00	2.684	3.083	2.884
21:00:00	22:00:00	2.187	2.552	2.370
22:00:00	23:00:00	2.208	2.626	2.417
23:00:00	24:00:00	853	1.158	1.006

Gráfico 1 – VD por hora de Terça a Quinta-feira (Sentido: BR-101 – Ilha)

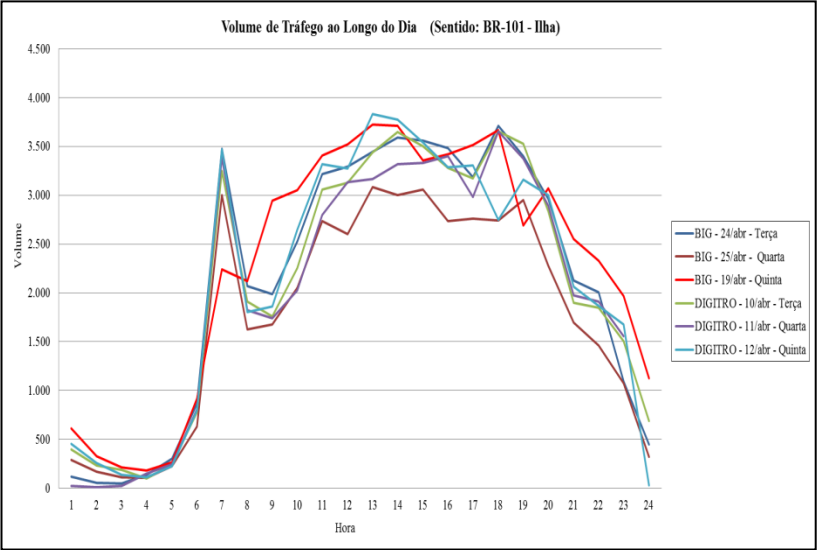
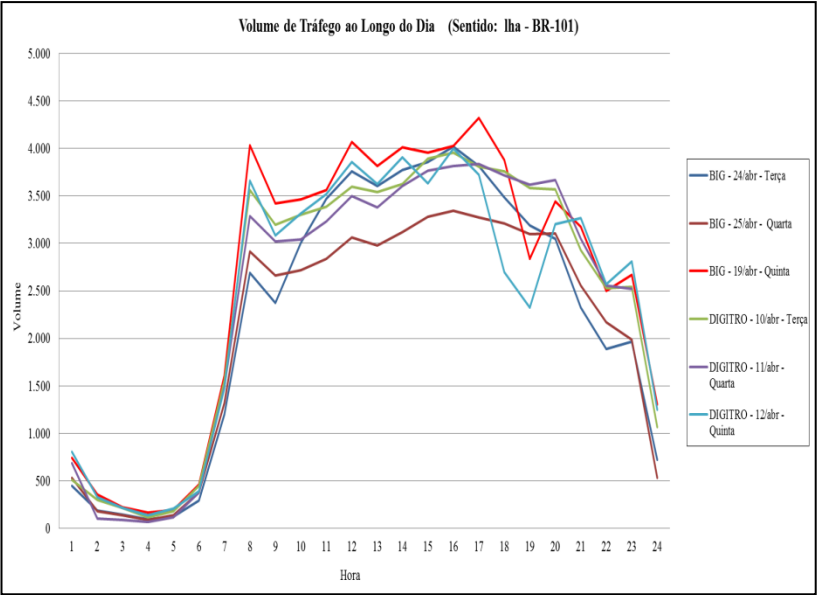


Gráfico 2 – VD por hora de Terça a Quinta-feira (Sentido: Ilha – BR-101)



Conforme os quadros 9 e 10, pode-se observar que o maior volume de tráfego ocorre no período da tarde. No sentido Ilha – BR-101, no intervalo de hora das 15hs00 as 16hs00 foram registrados os maiores volumes de tráfego, já no sentido inverso BR-101 – Ilha, o intervalo de horário foi compreendido entre as 17hs00 as 18hs00.

Os dados de contagens utilizados no respectivo estudo, referem-se a hora de maior volume de tráfego, considerando a média dos dias da contagem, e aplicação de taxa de crescimento de tráfego para os sentidos BR-101 – Ilha e Ilha – BR-101. A seguir no quadro 11 são apresentados os volumes médios diários para os contadores de referência localizados na rodovia BR-282 para o ano base de 2014, para os demais postos os dados encontram-se junto ao CD anexo a dissertação.

4.3 VOLUME DE TRÁFEGO EQUIVALENTE

Para poder compor o volume de tráfego da rodovia numa base única, utiliza-se o conceito de veículo equivalente. O veículo equivalente tem como valor de referência o automóvel (carro de passeio), para o qual se adota fator de equivalência = 1,0 UCP (unidade de carro de passeio).

O agrupamento das classes modais teve como objetivo transformar todas as 5 (cinco) classes de veículos, tais como; motos, carros de passeio, caminhões leves, caminhões pesados e veículos especiais (bitrem e rodotrem) classificadas nas contagens em unidades de carros de passeio por hora, para poder utilizar no método HCM-2010 e no microssimulador AIMSUN.

Para garantir o mesmo volume tráfego utilizado no microssimulador em UCP foi necessário considerar a proporção de caminhões e ônibus (PT) igual à zero no método HCM-2010.

A transformação das diferentes classes modais em unidades de carros de passeio foi realizada por meio de fatores de conversão, contidos no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume V – Sinalização Semafórica (DENATRAN, 2014).

O quadro 12 apresenta os fatores de equivalência para os diferentes tipos de veículos utilizados para a conversão em unidade de carro de passeio.

Quadro 12 – Fatores de equivalência para diferentes tipos de veículos

CLASSIFICAÇÃO (DENATRAN)	CLASSIFICAÇÃO DA CONTAGEM	FATOR DE EQUIVALÊNCIA
Automóvel	Carros de Passeio	1,00
Moto	Moto	0,33
Ônibus	-	2,00
Caminhão (2 eixos)	Caminhões Leves	2,00
Caminhão (3 eixos)	Caminhões Pesados e Veículos Especiais	3,00

Fonte: Adaptado DENATRAN (2014)

A seguir no quadro 13 é apresentada a conversão dos volumes de tráfego em unidade de carro de passeio para os contadores de referência, para os demais postos os dados encontram-se junto ao CD anexo a dissertação.

Quadro 13 – Conversão dos volumes de tráfego em unidade de carro de passeio

Detector	Fatores de equivalência para diferentes tipos de veículos					VOLUME UCP
	Moto	Carro	Caminhões Leves	Caminhões Pesados	Veículos Especiais	
	0,33	1,00	2,00	3,00	3,00	
d411 (referência)	123	3.234	754	123	0	4.234
d511 (referência)	61	3.541	850	24	6	4.482
d412 (referência)	106	2.942	570	90	0	3.708
d512 (referência)	128	3.050	230	0	0	3.408

Com a conversão efetuada dos volumes de tráfego em equivalente de unidade de carro de passeio pode-se utilizar os respectivos volumes convertidos na aplicação do método HCM-2010 e no microssimulador AIMSUN, detalhados a seguir nas seções 4.4 e 4.5.

4.4 ESTUDO DE CAPACIDADE E NÍVEL DE SERVIÇO: MÉTODO HCM-2010

4.4.1 Modelagem da Infraestrutura

A modelagem da infraestrutura compreende a divisão do trecho em segmentos conforme o método HCM-2010, definição de elementos de geometria, número de acessos e tipo de greide.

4.4.1.1 Divisão de Segmentos

A modelagem de múltiplas faixas não foi utilizada em função das características de velocidade fluxo livre (FFS) e da densidade total de rampas que classificou a rodovia em estudo como sendo *freeway*. Portanto, o trecho em estudo foi dividido em segmentos ao longo da sua extensão, conforme as orientações do método do HCM-2010, contido nos capítulos 11 (Segmento Básico de *Freeway*), 12 (Segmento de Entrelaçamento em *Freeway*) e 13 (Segmentos de *Freeway* de Convergência e Divergência) do manual. Os segmentos analisados foram divididos em:

- *Freeway*
- Entrelaçamento
- Rampa de Entrada e Saída

O procedimento sistemático empregado para a divisão dos segmentos foi baseado no comprimento dos segmentos, medindo com auxílio do *software* AutoCad 2012. Os quadros 14 e 15 apresentam a divisão de segmentos em função da sua respectiva característica, realizadas nas pistas da BR-282/SC nos sentidos Ilha – BR-101 e BR-101 – Ilha.

Quadro 14 – Divisão de segmentos no sentido Ilha (km 0,0) – BR-101 (km 5,427)

Nº Segmento	km i	km f	Extensão	Segmentos
1	0,000	0,448	448,0 m	<i>Freeway</i>
2	0,448	1,078	630,0 m	Entrelaçamento
3	1,078	1,400	322,0 m	<i>Freeway</i>
4	1,400	1,857	457,0 m	Rampa de Saída
5	1,857	2,276	419,0 m	<i>Freeway</i>
6	2,276	2,733	457,0 m	Rampa de Entrada
7	2,393	2,850	457,0 m	Rampa de Saída
8	2,513	2,970	457,0 m	Rampa de Saída
9	2,813	3,270	457,0 m	Rampa de Saída
10	3,270	4,170	900,0 m	<i>Freeway</i>
11	4,170	4,627	457,0 m	Rampa de Entrada
12	4,420	5,427	1.007,0 m	Entrelaçamento

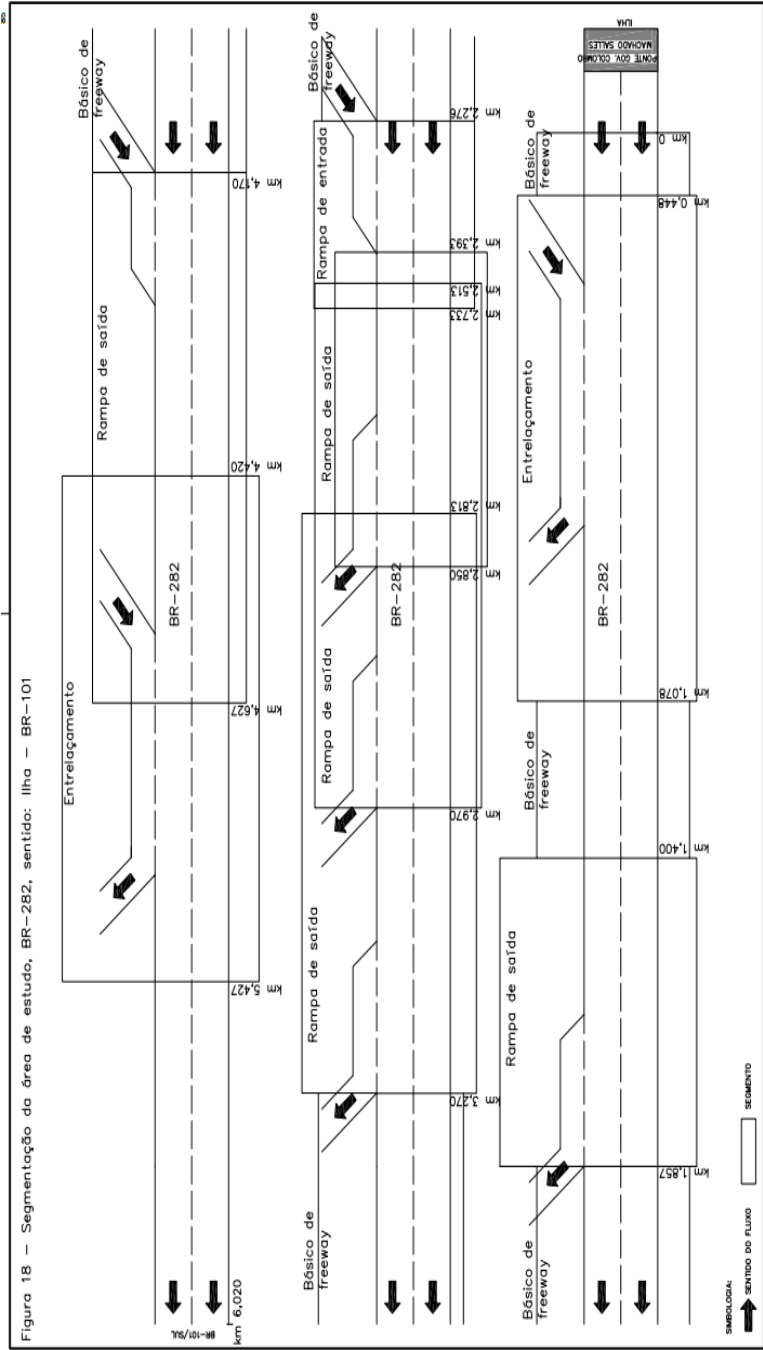
Quadro 15 – Divisão de segmentos no sentido BR-101 (km 5,262) – Ilha (km 0,0)

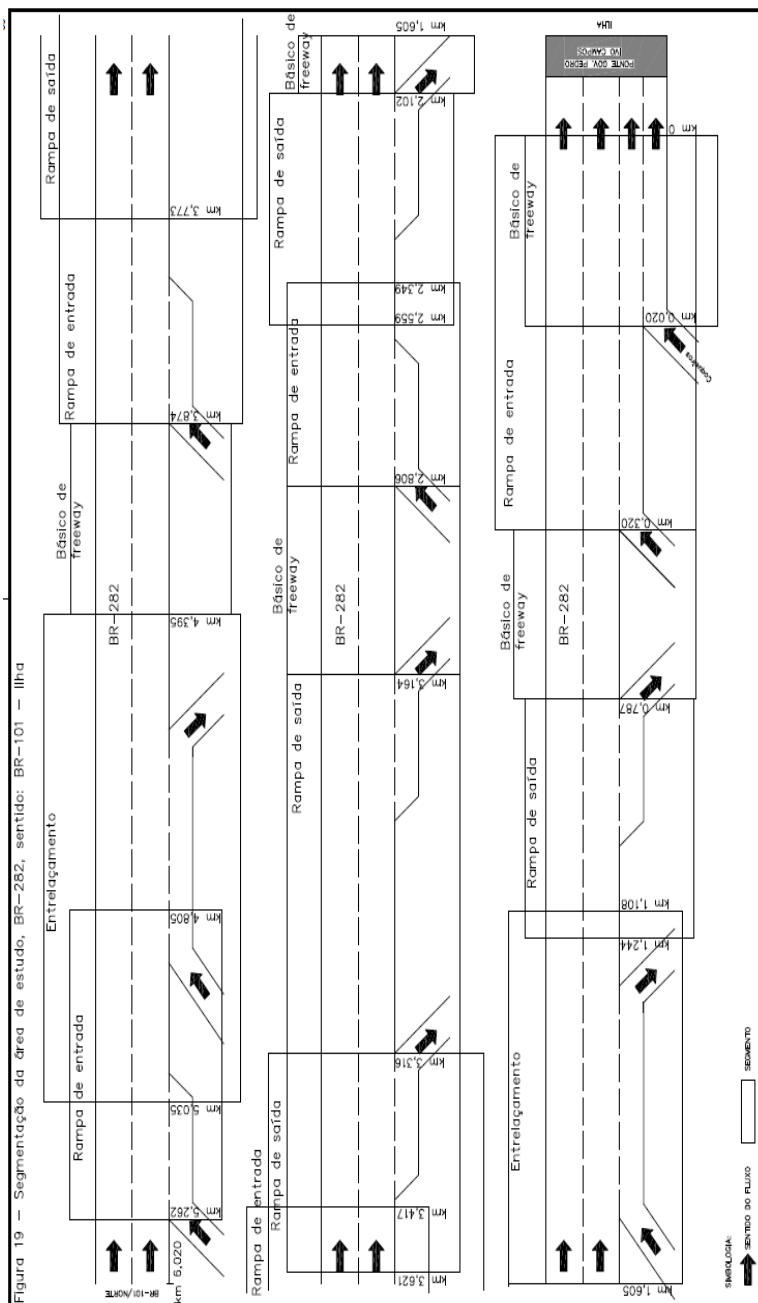
Nº Segmento	km i	km f	Extensão	Segmentos
1	5,262	4,805	457,0 m	Rampa de Entrada
2	5,035	4,395	640,0 m	Entrelaçamento
3	4,395	3,874	521,0 m	<i>Freeway</i>
4	3,874	3,417	457,0 m	Rampa de Entrada
5	3,773	3,316	457,0 m	Rampa de Saída
6	3,621	3,164	457,0 m	Rampa de Saída
7	3,164	2,806	358,0 m	<i>Freeway</i>
8	2,806	2,349	457,0 m	Rampa de Entrada
9	2,559	2,102	457,0 m	Rampa de Saída
10	2,102	1,605	497,0 m	<i>Freeway</i>
11	1,605	1,108	497,0 m	Entrelaçamento
12	1,244	0,787	457,0 m	Rampa de Saída
13	0,787	0,320	467,0 m	<i>Freeway</i>
14	0,320	0,000	320,0 m	Rampa de Entrada
15	0,020	0,000	20,0 m	<i>Freeway</i>

Na divisão da segmentação do trecho ocorreu a sobreposição entre rampas, rampas e entrelaçamento em função da sua área de influência. No sentido Ilha – BR-101, ocorreu à sobreposição entre rampas nos segmentos compreendidos entre os km's 2,276 - 2,970, e entre rampa e entrelaçamento no km 4,170 - km 4,627. Já no sentido

BR 101 – Ilha, ocorreu à sobreposição entre rampas nos segmentos compreendidos do km 3,733 ao km 3,316 e do km 2,559 ao km 2,349, e sobreposição entre rampa e entrelaçamento do km 5,035 ao km 4,805 e do km 1,244 ao km 1,108.

A seguir nas Figuras 18 e 19 são apresentados os detalhes da segmentação do trecho.





4.4.1.2 Geometria

Para a verificação da capacidade e do nível de serviço da rodovia o método HCM considera elementos de geometria; extensão do segmento, comprimento da faixa de aceleração e desaceleração, comprimento do segmento de entrelaçamento e largura de faixa (pista e acostamento).

A plataforma para as duas pistas, apresenta largura total para as duas faixas de rolamento de 6,60 m e acostamento externo com largura de 2,10 m. O comprimento das faixas de aceleração, desaceleração e entrelaçamento será detalhado a seguir como elementos de dados de entrada para o cálculo.

4.4.1.3 Número de Rampas de Entrada e Saída

O método HCM-2010 para segmento básico de *freeways* na equação para cálculo da estimativa da velocidade de fluxo livre (*FFS*), inclui um termo que representa o impacto da densidade total de rampas (*TRD*) na *FFS*.

O *TRD* é definido como o número de rampas (entrada e saída) em uma direção, situado entre 3 mi a montante e a 3 mi a jusante do ponto médio do segmento básico de *freeway* em estudo, dividido por 6 mi.

O número de rampas de entrada e saída no sentido Ilha - BR-101 são 12 (doze), sendo 9 (nove) de saída e 3 (três) de entrada. Já no outro sentido BR-101 – Ilha, o número total de rampas são 15 (quinze), sendo 7 (sete) de saída e 8 (oito) de entrada.

4.4.1.4 Greide

No desenvolvimento do traçado da rodovia em estudo, não há ocorrência de segmentos de greide tipo montanhoso e ondulado, a rodovia desenvolve-se todo o seu traçado no plano. A conclusão sobre o greide foi feita visualmente, através da experiência profissional do autor.

4.4.2 Modelagem da demanda

A modelagem da demanda compreende a seleção dos dados referente ao volume classificado de tráfego, velocidade, fator de hora de pico (FHP) e fator de população motorizada (FP).

4.4.2.1 Volume de tráfego

Os dados utilizados foram selecionados para a hora de maior volume de tráfego ao longo do dia convertidos em unidade de carro de passeio (UCP) conforme descrito na seção 4.3.

O método HCM considera o VHP (Volume da Contagem por sentido referente à hora de pico), como dado de entrada para o cálculo da capacidade nos segmentos com freeway, rampas e entrelaçamento.

Nos segmentos de freeway com rampas de entrada e saída, identificou-se o V_i (volume da demanda para o movimento i), junto com o volume da freeway. Para o segmento de entrelaçamento foram identificados os movimentos de fluxo de freeway para freeway, rampa para freeway, freeway para rampa e rampa para rampa.

4.4.2.2 Velocidade

A velocidade limite da rodovia é de 100 km/h, exceto nas alças das interseções, junções de entrada e saída que a velocidade é de 60 km/h. Na chegada a Ponte Governador Pedro Ivo Campos, o tráfego que acessa a rodovia vindo da Interseção da Avenida Max de Souza ingressa com a velocidade limite de 80 km/h, em função do raio da alça da interseção.

4.4.2.3 Fator de Hora de Pico (FHP)

De acordo com o Manual de Estudo de Tráfego (DNIT, 2006), o FHP varia, teoricamente, entre 0,25 (fluxo totalmente concentrado em um dos períodos de 15 minutos) e 1,00 (fluxo completamente uniforme), ambos os casos praticamente impossíveis de se verificar. Os casos mais comuns são de FHP na faixa de 0,75 a 0,90. Os valores de FHP nas áreas urbanas se situam geralmente no intervalo de 0,80 a 0,98. Valores acima de 0,95 são indicativos de grandes volumes de tráfego, algumas vezes com restrições de capacidade durante a hora de pico.

As contagens foram realizadas em intervalos de 1 hora, não sendo possível determinar com exatidão o valor de FHP. Portanto, adotou-se para fins de cálculo de capacidade e nível de serviço o valor de 0,90 para área urbana, conforme recomendação contida no Manual de Estudo de Tráfego 2006 do DNIT.

4.4.2.4 Fator de ajustamento de população motorizada

De acordo com o TRB (2010), o fator de ajustamento de população motorizada (f_p) é usado para refletir o efeito da população de motorizada na rodovia. Os valores de f_p variam de 0,85 a 1,00, na maioria dos casos, embora valores mais baixos foram observados em casos isolados. Em geral, o analista deve usar um valor de 1,00, que reflete nos passageiros ou motoristas habituais, a menos que haja estudos suficientes que mostrem a necessidade de utilizar um valor inferior.

Para o respectivo estudo utilizou-se um fator de ajustamento de população motorizada (f_p) de 1,0.

4.4.3 Cálculos do HCM-2010

Com a divisão dos segmentos e a seleção dos dados de entrada pode-se aplicar o procedimento de cálculo para a verificação da capacidade e do nível de serviço da rodovia para o ano base de 2014.

Os respectivos cálculos de verificação da capacidade e do nível de serviço foram realizados pelo programa HCS-2010 e a respectiva memória de cálculo encontram-se no CD anexo à dissertação.

Nos quadros 16 a 19 a seguir são apresentados os resumos dos dados de entrada utilizados em cada um dos segmentos considerados no cálculo do HCM-2010 e os respectivos resultados.

Quadro 16 – Parâmetros de entrada para o cálculo no HCM-2010, sentido: Ilha (km 0,0) – BR-101 (km 5,427), das 15hs00 as 16hs00

Nº Segmento	km i	km f	Extensão	Segmentos	Nº faixas	Volume na freeway	Volume na rampa	Volume da freeway para freeway	Volume da rampa para freeway	Volume da freeway para rampa	Volume da rampa para rampa
1	0,000	0,448	448,0 m	Freeway	2	4.258					
2	0,448	1,078	630,0 m	Entrelaçamento	3			4.482	366	142	40
3	1,078	1,400	322,0 m	Freeway	2	4.482					
4	1,400	1,857	457,0 m	Rampa de Saída	2	4.256	226				
5	1,857	2,276	419,0 m	Freeway	2	4.256					
6	2,276	2,733	457,0 m	Rampa de Entrada	2	4.256	917				
7	2,393	2,850	457,0 m	Rampa de Saída	2	5.049	124				
8	2,513	2,970	457,0 m	Rampa de Saída	2	4.419	630				
9	2,813	3,270	457,0 m	Rampa de Saída	2	4.234	185				
10	3,270	4,170	900,0 m	Freeway	2	4.234					
11	4,170	4,627	457,0 m	Rampa de Entrada	2	4.234	1.334				
12	4,420	5,427	1.007,0 m	Entrelaçamento	3			4.227	666	2.007	250

Quadro 17 – Parâmetros de entrada para o cálculo no HCM-2010, sentido: BR-101 (km 5,427) – Ilha (km 0,0), das 17hs00 as 18hs00

Nº Segmento	km i	km f	Extensão	Segmentos	Nº faixas	Volume na freeway	Volume na rampa	Volume da freeway para freeway	Volume da rampa para freeway	Volume da freeway para rampa	Volume da rampa para rampa
1	0,000	0,020	20,0 m	Freeway	4	5.714					
2	0,000	0,320	320,0 m	Rampa de Entrada	2	3.062	1.994				
3	0,320	0,787	467,0 m	Freeway	2	3.062					
4	0,787	1,244	457,0 m	Rampa de Saída	2	3.062	209				
5	1,108	1,605	497,0 m	Entrelaçamento	3						
6	1,605	2,102	497,0 m	Freeway	2	3.408		3.271	164	301	20
7	2,102	2,559	457,0 m	Rampa de Saída	2	3.408	141				
8	2,349	2,806	457,0 m	Rampa de Entrada	2	2.687	862				
9	2,806	3,164	358,0 m	Freeway	2	2.687					
10	3,164	3,621	457,0 m	Rampa de Saída	2	3.641	67				
11	3,316	3,773	457,0 m	Rampa de Saída	2	3.092	616				
12	3,417	3,874	457,0 m	Rampa de Entrada	2	3.092					
13	3,874	4,395	521,0 m	Freeway	2	1.718					
14	4,395	5,035	640,0 m	Entrelaçamento	3			3.092	520	463	1.501
15	4,805	5,262	457,0 m	Rampa de Entrada	2	1.956	1.079				

Quadro 18 – Resultados do método HCM-2010, sentido: Ilha (km 0,0) – BR-101 (km 5,427), das 15hs00 as 16hs00

Nº Segmento	km i	km f	Extensão	Segmentos	HCM			
					Fluxo (v)	Velocidade (S)	Densidade (D)	LOS
1	0,000	0,448	448,0 m	Freeway	2.366,00 pc/h/ln	54,20 mi/h	43,60 pc/mi/ln	E
2	0,448	1,078	630,0 m	Entrelaçamento	5.670,00 pc/h	48,50 mi/h	39,00 pc/mi/ln	E
3	1,078	1,400	322,0 m	Freeway	2.490,00 pc/h/ln	50,70 mi/h	49,10 pc/mi/ln	F
4	1,400	1,857	457,0 m	Rampa de Saída	4.729,00 pc/h	54,30 mi/h	42,30 pc/mi/ln	F
5	1,857	2,276	419,0 m	Freeway	2.364,00 pc/h/ln	54,30 mi/h	43,50 pc/mi/ln	E
6	2,276	2,733	457,0 m	Rampa de Entrada	5.748,00 pc/h	32,40 mi/h	44,20 pc/mi/ln	F
7	2,393	2,850	457,0 m	Rampa de Saída	5.610,00 pc/h	55,80 mi/h	46,10 pc/mi/ln	F
8	2,513	2,970	457,0 m	Rampa de Saída	4.910,00 pc/h	53,70 mi/h	43,00 pc/mi/ln	F
9	2,813	3,270	457,0 m	Rampa de Saída	4.704,00 pc/h	54,40 mi/h	39,40 pc/mi/ln	F
10	3,270	4,170	900,0 m	Freeway	2.352,00 pc/h/ln	54,60 mi/h	43,10 pc/mi/ln	E
11	4,170	4,627	457,0 m	Rampa de Entrada	6.186,00 pc/h	18,30 mi/h	47,50 pc/mi/ln	F
12	4,420	5,427	1.007,0 m	Entrelaçamento	7.945,00 pc/h	57,00 mi/h	32,50 pc/mi/ln	F

Quadro 19 – Resultados do método HCM-2010, sentido: BR-101 (km 5,427) – Ilha (km 0,0), das 17hs00 as 18hs00

Nº Segmento	km i	km f	Extensão	Segmentos	HCM			
					Fluxo (v)	Velocidade (S)	Densidade (D)	LOS
1	0,000	0,020	20,0 m	Freeway	1.587,00 pc/h/ln	68,30 mi/h	23,20 pc/mi/ln	C
2	0,000	0,320	320,0 m	Rampa de Entrada	5.618,00 pc/h	53,90 mi/h	23,80 pc/mi/ln	C
3	0,320	0,787	467,0 m	Freeway	1.701,00 pc/h	67,10 mi/h	25,40 pc/mi/ln	C
4	0,787	1,244	457,0 m	Rampa de Saída	3.402,00 pc/h	55,60 mi/h	30,90 pc/mi/ln	D
5	1,108	1,605	497,0 m	Entrelaçamento	4.172,00 pc/h	51,30 mi/h	27,10 pc/mi/ln	C
6	1,605	2,102	497,0 m	Freeway	1.893,00 pc/h/ln	64,40 mi/h	29,40 pc/mi/ln	D
7	2,102	2,559	457,0 m	Rampa de Saída	3.787,00 pc/h	55,80 mi/h	31,50 pc/mi/ln	D
8	2,349	2,806	457,0 m	Rampa de Entrada	3.944,00 pc/h	52,60 mi/h	32,10 pc/mi/ln	D
9	2,806	3,164	358,0 m	Freeway	1.493,00 pc/h/ln	69,00 mi/h	21,60 pc/mi/ln	C
10	3,164	3,621	457,0 m	Rampa de Saída	2.986,00 pc/h	52,80 mi/h	25,80 pc/mi/ln	C
11	3,316	3,773	457,0 m	Rampa de Saída	4.046,00 pc/h	55,10 mi/h	34,80 pc/mi/ln	D
12	3,417	3,874	457,0 m	Rampa de Entrada	4.120,00 pc/h	51,70 mi/h	33,70 pc/mi/ln	D
13	3,874	4,395	521,0 m	Freeway	1.718,00 pc/h/ln	66,90 mi/h	25,70 pc/mi/ln	C
14	4,395	5,035	640,0 m	Entrelaçamento	4.695,00 pc/h	47,20 mi/h	33,10 pc/mi/ln	D
15	4,805	5,262	457,0 m	Rampa de Entrada	3.372,00 pc/h	54,40 mi/h	27,00 pc/mi/ln	C

4.5 MICROSIMULADOR DE TRÁFEGO AIMSUN

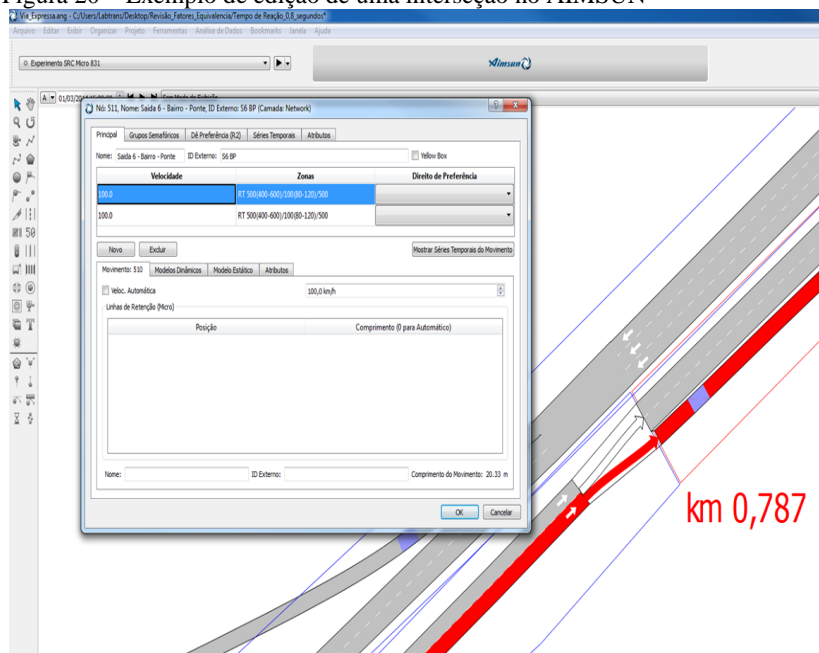
4.5.1 Modelagem da infraestrutura

Para modelar a infraestrutura foram observadas as características da malha viária, considerando a área de estudo. Fez-se uso de ferramentas como o *Google Earth* e o *Google Street View*, *softwares* que auxiliaram na observação dos sentidos dos fluxos, existência de interseções e número de faixas.

A malha foi modelada através do desenho de seções, interseções, faixas de aceleração e desaceleração, dentre outros elementos que compõem sua infraestrutura. Salienta-se que, cada seção possui características específicas como o tipo de via, o comprimento, a largura, o número de faixas, a velocidade e o sentido. Essas propriedades podem ser editadas, no sentido de melhor representarem a realidade da área de estudo.

A Figura 14 apresenta uma seção e a caixa de atributos referente a um nó, no qual esta seção está conectada, sendo que os nós existentes na malha representam as ligações com as rampas de entrada e saída. Cada nó possui uma caixa de atributos, na qual é possível editar características relacionadas aos movimentos, tais como o sentido do fluxo e os direitos de preferência de passagem, identificados por meio da sinalização. Esta pode ser editada através da caixa de atributos também representada na Figura 20.

Figura 20 – Exemplo de edição de uma interseção no AIMSUN

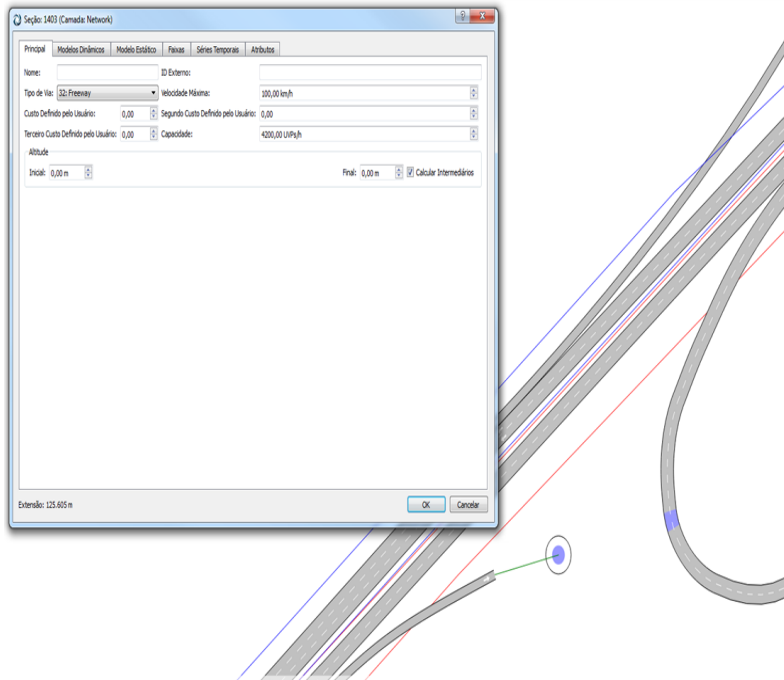


Fonte: Dados do autor (2014)

As vias podem ser modeladas conforme a necessidade do estudo, sendo capazes de representar a situação atual ou um cenário futuro, é possível a criação de mais de uma faixa, além disso, há possibilidade de editar a largura da faixa, o modo de conversão, o sentido e a velocidade, conforme as características mais próximas da realidade.

Na Figura 21 é possível observar a janela de atributos da seção contendo suas características, como o tipo de via, velocidade e capacidade. Outro ponto importante a observar são os vértices de edição da seção, os quais auxiliam na modelagem de via, pois permitem realizar efeitos de curvas e retas, a fim de que a representação da infraestrutura se torne fidedigna à situação real. Para cada seção de acordo com a característica da via é atribuído um valor de velocidade.

Figura 21 – Exemplo de modelagem de seção no AIMSUN



Fonte: Dados do autor (2014)

Uma vez desenhadas todas as seções e os nós existentes na malha, foram determinados os centróides do modelo. Cada centróide representa a origem e/ou o destino dos veículos de cada zona de tráfego. Os centróides têm papel fundamental na simulação de tráfego, visto que é através deles que os veículos entram e saem da malha durante a simulação.

Cada centróide pode ser ligado a quaisquer seções ou nós presentes no modelo. No entanto, para a definição dos centróides é importante observar duas premissas fundamentais, como a existência de apenas um centróide para cada zona de tráfego e que, todo término de seção precisa estar conectado a um centróide, de modo que nenhuma seção possa estar desconexa, caso contrário não será possível realizar a simulação.

Para a localização do centróide em cada zona de tráfego, observa-se a necessidade de um centróide para cada ponto de encontro (origem), e outro para cada saída (destino).

A Figura 22 apresenta um exemplo de definição de centróide, situado no início e no final de duas seções. Na mesma figura, nota-se a caixa de atributos deste centróide, na qual é possível editar o percentual de viagens geradas e atraídas por ele.

Figura 22 – Definição do centróide, acima caixa de edição com os atributos relacionados ao centróide.

Centróide: 486 (Camada: Network)

Principal | Valores | Rotas O/D | Atributos

Nome: ID Externo:

Conexões

Simuladores Dinâmicos

☐ Mesma Porcentagem para Todos ☐ Usar Melhor Entrada

☐ Usar Porcentagem de Origem ☐ Usar Porcentagem de Destino

Tipo	Objeto	ID	Porcentagem (Simuladores Dinâmicos)	Classe do Veículo (Simuladores Dinâmicos)	VDF (Macro)
Gera para	Seção	1111	100,00	Qualquer	Padrão
Atrai de	Seção	1108	100,00	Qualquer	Padrão

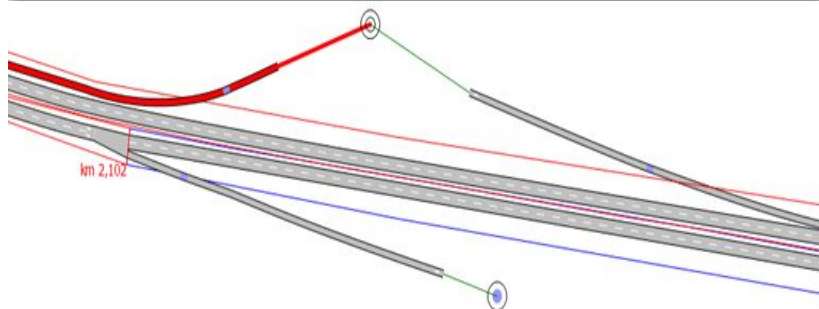
Novo Excluir

Mostrar Atributos da Conexão

Informação

Este centróide está na configuração de centróides 731: Configuração de Centróide 731

OK Cancelar



Fonte: Dados do autor (2014)

4.5.1.1 Segmentação

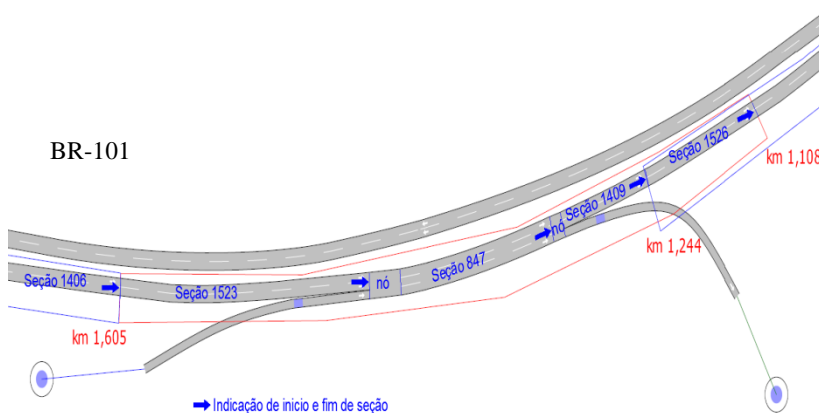
Para proceder à comparação das características de tráfego foi necessário realizar a mesma segmentação feita conforme as diretrizes do método HCM-2010 no microssimulador AIMSUN.

A segmentação foi realizada após a etapa de desenho da malha viária, através de ferramenta de corte de seção, para os dois cenários de avaliação do estudo sentido Ilha – BR-101 e BR-101 – Ilha.

Na etapa de segmentação da malha viária observou-se um detalhe importante, um segmento do método HCM-2010 pode conter vários segmentos respectivos no AIMSUN denominados de seção.

A Figura 23 ilustra a segmentação realizada no microssimulador conforme a procedida no método HCM-2010 para segmento do km 1,605 ao km 1,108, para o sentido BR-101 – Ilha. De acordo ainda com a Figura 23, verifica-se para o respectivo segmento que existe 4 (quatro) segmentos do AIMSUN, denominados seção 1523, 847, 1409 e 1526. Os demais segmentos encontram-se no CD anexo junto à dissertação.

Figura 23 – Segmento de entrelaçamento do km 1,605 ao km 1,108 no AIMSUN



Fonte: Dados do autor (2014)

4.5.2 Modelagem da demanda

A modelagem da demanda refere-se aos dados de entrada utilizados na microssimulação, especificamente dados de volume de tráfego e velocidade dos veículos, e também ao procedimento de como os respectivos dados foram trabalhados na microssimulação.

4.5.2.1 Volume de tráfego

A classificação dos veículos quanto ao volume de tráfego no microssimulador seguiu o mesmo critério realizado pelo método HCM-2010, que é a transformação do volume de tráfego das contagens em unidade de carro de passeio (UCP) conforme descrito na seção 4.3.

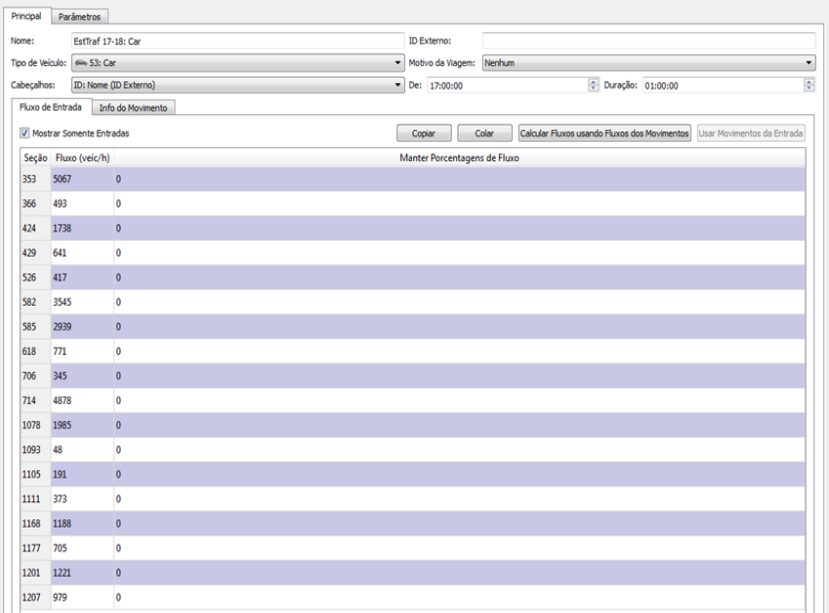
4.5.2.2 Estrutura dos dados de entrada de demanda

A estrutura dos dados de entrada de demanda no microssimulador AIMSUN foram feitas para estados de tráfego que leva em consideração o volume de tráfego de todas as seções de entrada na malha e o volume de tráfego de todos os movimentos nos nós dentro da hora de análise.

A estruturação dos dados foi procedida com base nas contagens de tráfego realizadas nas seções da *freeway* e também em todas as rampas de entrada e saída, podendo com isso quantificar o volume de tráfego em todos os movimentos da malha viária.

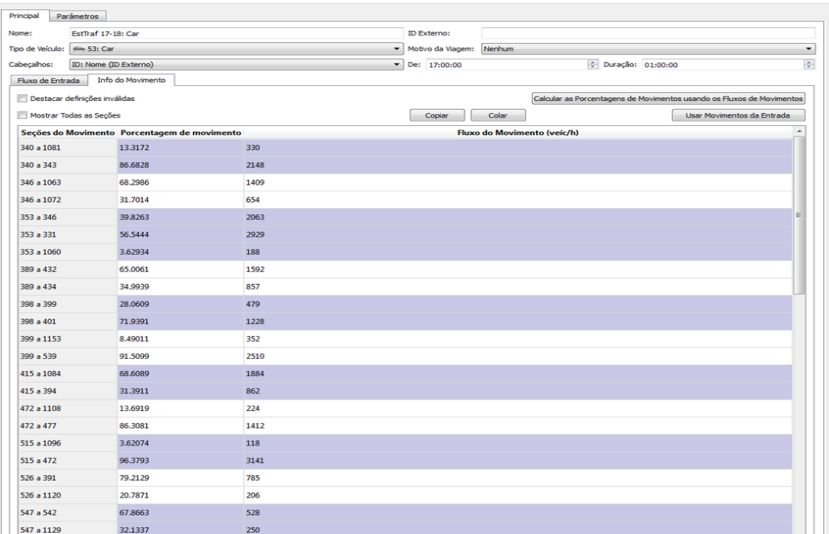
A seguir na Figura 24 e 25 são apresentados um exemplo da estrutura de dados de entrada de demanda modelados para estados de tráfego no microssimulador, para o sentido: BR-101 – Ilha, os dados completos desse sentido e do sentido: Ilha – BR-101 encontram-se no CD Anexo a dissertação.

Figura 24 – Volume de tráfego nas seções de entrada, sentido: BR-101 – Ilha



Fonte: Dados do autor (2014)

Figura 25 – Volume de tráfego de todos os movimentos nos nós, sentido: BR-101 – Ilha



Fonte: o autor (2014)

4.5.2.3 Estrutura dos dados para validação

A estrutura dos dados para validação dos cenários foi realizada através da criação do conjunto de dados reais. A criação do conjunto de dados reais foi feita por meio da criação de um arquivo no formato “txt”, contendo informações referentes a identificação dos detectores de tráfego, volume de tráfego em UCP e velocidade.

A seguir no quadro 20 são apresentados a estrutura dos dados utilizados para validação dos cenários no microsimulador.

Quadro 20 – Dados utilizados para validação dos cenários no microsimulador

Sentido: Ilha - BR-101 / 15hs - 16hs			Sentido: Ilha - BR-101 / 17hs - 18hs		
Detector - Id	Volume de Tráfego UCP/h	Velocidade (km/h)	Detector - Id	Volume de Tráfego UCP/h	Velocidade (km/h)
d2	2.527	83	d3	1.079	65
d411	4.234	58	d412	3.708	94
d511	4.482	50	d512	3.408	90
d611	4.227	93	d612	1.350	92
d211	5.900	75	d7	688	62
d23	3.785	60	d212	3.100	97
d29	145	67	d32	1.520	30
d30	2.107	69	d34	1.994	65
d31	612	54	d36	612	70
d33	406	65	d37	46	65
d35	843	62	d42	67	67
d38	124	72	d43	143	63
d39	176	63	d44	2.555	68
d40	1.793	41	d45	193	67
d41	630	67	d46	862	68
d48	350	80	d47	954	65
d49	1.696	57	d57	334	61
d65	182	80	d58	705	69
d71	226	65	d63	204	59
d73	917	58	d64	209	92
d75	1.334	29	d66	321	82
d79	185	63	d70	184	65
d80	916	65	d72	141	72
d91	1.492	58	d74	616	61
d92	7.122	58	d81	670	67

Quadro 20 – Dados utilizados para validação dos cenários no microsimulador - continuação.

Sentido: Ilha - BR-101 / 15hs - 16hs			Sentido: Ilha - BR-101 / 17hs - 18hs		
Detector - Id	Volume de Tráfego UCP/h	Velocidade (km/h)	Detector - Id	Volume de Tráfego UCP/h	Velocidade (km/h)
d45	193	60	d33	326	68
d46	80	63	d35	823	63
d47	822	63	d38	75	63
d57	622	61	d39	123	57
d58	695	65	d40	1.788	50
d63	81	67	d41	710	64
d64	160	92	d48	862	80
d66	277	88	d49	1.052	58
d70	87	65	d65	121	75
d72	107	80	d71	222	60
d74	630	65	d73	950	30
d81	320	68	d75	1.172	30
d84	453	65	d79	150	65
d93	4.100	81	d80	864	60
d94	619	65	d91	1.032	63
d96	102	56	d92	5.600	74
d97	732	61	d95	643	67

4.5.2.4 Atribuir demanda de tráfego aos cenários

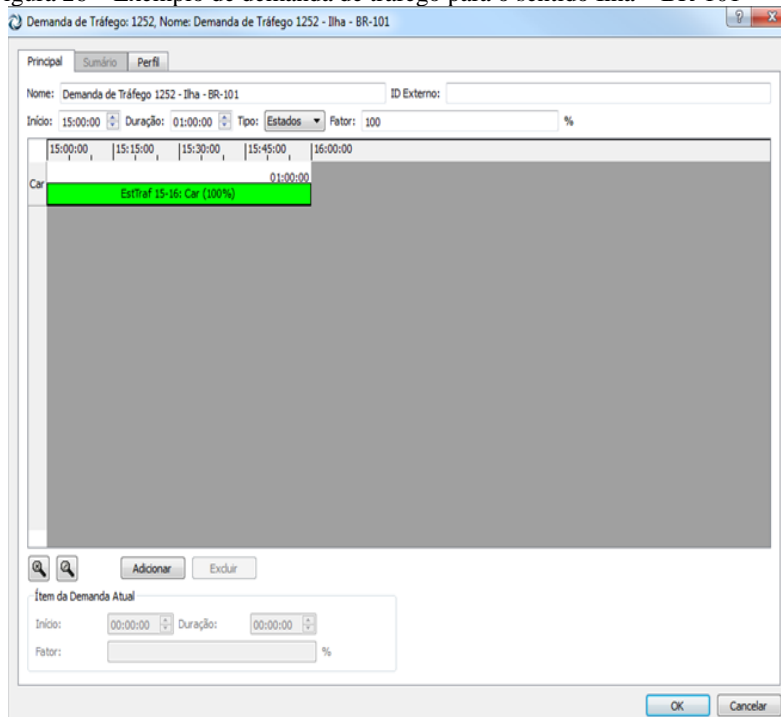
A criação da demanda de tráfego ocorre através da agregação dos estados de tráfego para cada cenário existente. Como mencionado na etapa de estruturação dos dados de entrada para estados de tráfego, os volumes de tráfego utilizados foram em equivalente em unidade de carros de passeio.

Na demanda de tráfego, pode ser determinado o intervalo da distribuição dos veículos no tempo dentro do intervalo de tempo

máximo definido para o cenário de simulação, conforme indicado na montagem dos estados de tráfego.

A Figura 26 apresenta o exemplo de criação de demanda de tráfego para o sentido: Ilha – BR-101.

Figura 26 – Exemplo de demanda de tráfego para o sentido Ilha – BR-101



Fonte: Dados do autor (2014)

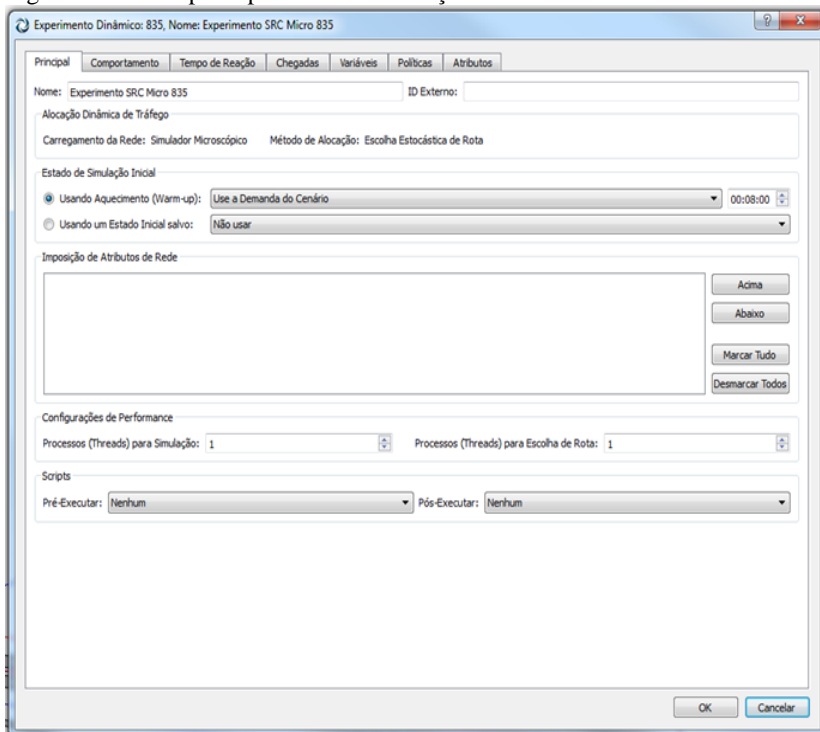
Na janela da demanda de tráfego, representada na Figura 20, observa-se que o intervalo de tempo em que a demanda está distribuída na simulação é de uma hora. Esse intervalo pode ser editado dentro do limite estabelecido pelo tempo de simulação, que nesse caso é de uma hora.

4.5.3 Simulação

Nessa etapa, primeiramente precisam ser criados cenários dinâmicos no projeto, sendo a eles atribuídas as respectivas demandas de tráfego, o que ocorre através da criação de um experimento. Através deste experimento, é possível rodar uma ou mais replicações, por meio das quais é possível verificar e analisar os resultados da simulação.

A janela de edição do cenário possui várias pastas: na primeira constam os dados mais importantes (consiste basicamente no que vai ser simulado e na seleção da demanda de tráfego que representa aquele cenário). A Figura 27 apresenta o exemplo do editor de simulação para o sentido BR-101 – Ilha.

Figura 27 – Pasta principal da caixa de edição sentido BR-101 - Ilha



Fonte: Dados do autor (2014)

Confiar no resultado de apenas uma simulação pode induzir uma análise errada do desempenho da rede. Siddique e Khan (2006) e Vilarinho e Tavares (2012) aconselham efetuar pelo menos 10 simulações do mesmo cenário com diferentes números de sementes aleatórias e assim obter a média que poderá ser utilizada análise. Esse número de simulações é suficiente pelo fato que acima desse valor a diferença entre os resultados das médias é inferior à 1%.

Cada replicação simulada apresenta um resultado diferente, para cada cenário avaliado no sentido Ilha – BR-101 e BR-101 – Ilha, foram feitas um total de 10 (dez) replicações e calculada a média dos resultados, denominando-se respectivamente replicação média 1549 e 1560. Os resultados avaliados referem-se a média das replicações realizadas.

Os parâmetros utilizados na microsimulação adotaram os valores *defaults*, como por exemplo, fator de aceleração e desaceleração, percentagem de ultrapassagem, cooperação na troca de faixa.

Já os parâmetros de tempo de reação ligado ao comportamento do motorista e o período de aquecimento (*warm-up*) não foram utilizados os seus respectivos valores *defaults*, e sim atribuídos outros valores com a finalidade de avaliar a sua contribuição no coeficiente de determinação (R^2) para a validação dos resultados, sendo detalhados na seção 4.5.4.

4.5.3.1 Ajustes e correção da malha

Quando executada a simulação, é possível testar a geometria da infraestrutura modelada, verificar a existência de algum impedimento do fluxo, possíveis inconsistência de velocidade, de sentido, ou de outro problema existente em seções e/ou nós.

Sempre que realizados os ajustes na malha, é preciso que as replicações sejam simuladas novamente, a fim de verificar os novos resultados provocados pelos ajustes. Portanto, correções e ajustes na malha são seguidos de uma nova simulação – trata-se de ações realizadas de forma cíclica, até que se alcancem os resultados pretendidos.

Durante a verificação da malha, foram observados se todos os finais de seção estavam conectados a um centróide, bem como a

inexistência de seções desconexas e a existência de um centróide por zona de tráfego. Nesse caso, se algum erro do gênero existir, não é possível realizar a replicação da forma pretendida.

Uma vez realizados os ajustes necessários os resultados da microsimulação podem ser analisados.

4.5.4 Validação

O processo de validação consiste em aproximar ao máximo a situação simulada da corrente de tráfego na situação real para volume de tráfego em UCP e velocidade. Para tanto é necessário utilizar técnicas que objetivam aumentar a confiabilidade dos resultados da simulação, indicado pelo coeficiente de determinação (R^2).

Com objetivo de contribuir na melhora dos resultados do coeficiente de determinação (R^2) na microsimulação, verificou-se a influência da variação dos valores dos parâmetros de tempo de reação ligado ao comportamento do motorista e do período de aquecimento (*warm-up*).

4.5.4.1 Tempo de reação (comportamento do motorista)

O parâmetro tempo de reação ligado ao comportamento do motorista caracteriza o grau de agressividade do motorista. O microsimulador AIMSUN considera como valor *default* para o tempo de reação o valor de 0,8 segundos.

A fim de poder avaliar a influência da variação do tempo de reação no processo de validação dos resultados através do coeficiente de determinação (R^2) foram atribuídos valores de tempo de reação variando de 0,5 a 1,5 segundos.

A seguir nos quadros 21 e 22 são apresentados os resultados da variação do tempo de reação no processo de validação para volume de tráfego em UCP e velocidade para o sentido Ilha – BR-101 e BR-101 – Ilha.

Os resultados dos quadros 21 e 22 mostraram que para o tempo de reação de 0,8 segundos se obtém o melhor resultado para o coeficiente de determinação (R^2) para a validação do volume de tráfego

e da velocidade. Portanto, utilizou-se o respectivo valor como parâmetro de tempo de reação na microcrossimulação.

Quadro 21 – Resultados da variação do tempo de reação para validação, sentido: Ilha – BR-101

TR	Validação – Volume de tráfego			Validação - Velocidade		
	R ²	RM S	Equação	R ²	RMS	Equação
0,5	0,99	2,7	$-54,3484 + 1,0139x$	0,59	1,2	$8,57092 + 0,93164x$
0,6	0,99	3,5	$-45,7585 + 0,965643x$	0,63	1,0	$10,1694 + 0,9075x$
0,7	0,99	4,2	$-46,6405 + 0,9562x$	0,87	0,9	$0,463005 + 1,02266x$
0,8	0,99	3,1	$-11,0419 + 0,914342x$	0,91	1,0	$-6,98319 + 1,10623x$
0,9	0,98	3,1	$1,9412 + 0,859402x$	0,90	0,9	$-5,62206 + 1,08591x$
1,0	0,97	3,5	$21,1811 + 0,826434x$	0,86	1,0	$-5,96531 + 1,08206x$
1,1	0,97	3,7	$33,6316 + 0,788612x$	0,79	1,2	$-9,57046 + 1,12162x$
1,2	0,96	3,7	$49,6688 + 0,7541547x$	0,70	1,3	$-9,57046 + 1,12162x$
1,3	0,95	4,0	$57,1398 + 0,732651x$	0,64	1,3	$-3,20026 + 1,00911x$
1,4	0,94	3,9	$69,3262 + 0,690929x$	0,73	1,3	$-7,7443 + 1,08143x$
1,5	0,93	4,1	$71,5017 + 0,660638x$	0,71	1,3	$-6,97341 + 1,06789x$

Quadro 22 – Resultados da variação do tempo de reação para validação, sentido: BR-101 – Ilha

TR	Validação – Volume de tráfego			Validação - Velocidade		
	R ²	RM S	Equação	R ²	RM S	Equação
0,5	0,97	2,8	-96,3575 + 1,12964x	0,71	1,0	8,14914 + 0,928122x
0,6	0,97	2,6	-85,4351 + 1,05452x	0,69	1,0	9,47557 + 0,912775x
0,7	0,98	2,7	-80,0785 + 1,01828x	0,85	0,9	-0,537902 + 1,04293x
0,8	0,98	2,8	-72,1112 + 0,970698x	0,91	1,1	-10,21599 + 1,15998x
0,9	0,97	3,0	-54,4224 + 0,921732x	0,89	0,9	-4,58192 + 1,07274x
1,0	0,97	3,3	-41,8641 + 0,872247x	0,85	1,0	-5,84503 + 1,08154x
1,1	0,97	4,0	-33,4608 + 0,840042x	0,79	1,1	-7,42342 + 1,09415x
1,2	0,96	3,7	-24,913 + 0,800336x	0,80	1,1	-8,57397 + 1,11248x
1,3	0,96	3,7	-7,67352 + 0,769151x	0,76	1,2	-7,64382 + 1,08712x
1,4	0,95	3,9	1,54319 + 0,748534x	0,75	1,2	-6,8318 + 1,07333x
1,5	0,94	4,0	3,68368 + 0,720506x	0,74	1,2	-8,20639 + 1,08695

4.5.4.2 Período de aquecimento (*warm-up*)

O período de aquecimento (*warm-up*) é o período que se pode definir antes de iniciar o período de simulação desejado, para que a rede já esteja carregada no ponto de início do período de simulação. A definição do período de aquecimento serve para se evitar iniciar a simulação com a rede em vazio.

De acordo com a recomendação da FHWA (2004), o analista deve escolher o período de aquecimento igual a pelo menos duas vezes o tempo de viagem estimado em condições de fluxo livre para atravessar o extensão da rodovia. Por exemplo, se a *freeway* a ser modelada é de 8,1 km (5 milhas) de extensão, que leva cerca de 5 minutos para

percorrer a sua extensão a uma velocidade de fluxo livre, de modo que o período de aquecimento é fixada em 10 minutos.

Considerando a recomendação da FHWA, a *freeway* modelada tem uma extensão de 5,5 km, que leva cerca de 4 minutos para percorrer sua extensão a uma velocidade de fluxo livre, de modo que o período de aquecimento seja de 8 minutos.

Para o respectivo estudo avaliou tempo de aquecimento de 8, 10, 20 e 30 minutos para verificar a sua influência nos resultados de validação do microssimulador.

Os quadros 23 e 24 apresentam os resultados do coeficiente de determinação (R^2) para a validação do volume de tráfego e da velocidade em função da variação do tempo de aquecimento na microssimulação para os sentidos Ilha-BR-101 e BR-101 – Ilha.

Os resultados apresentados no quadro 23 mostraram que para o sentido Ilha – BR-101 o período de aquecimento de 8 minutos foi o que apresentou um melhor coeficiente de determinação de 0,99 para a validação do volume de tráfego e 0,92 para velocidade.

Já os resultados apresentados no quadro 24 mostraram que para o sentido BR-101 – Ilha a variação do tempo de aquecimento não influenciou os resultados de validação para o volume de tráfego, o valor do coeficiente de determinação permaneceu inalterado com valor de 0,98. O tempo de aquecimento de 8 minutos foi o que apresentou um melhor coeficiente de determinação de 0,91 para a validação da velocidade.

Quadro 23 – Resultados da variação do período de aquecimento na rede, sentido: Ilha – BR-101

Período de Aquecimento	Validação – Volume de tráfego			Validação - Velocidade		
	R ²	RMS	Equação	R ²	RMS	Equação
8 min	0,99	3,1	$-11,0419 + 0,914342x$	0,92	1,0	$-6,98319 + 1,10623x$
10 min	0,99	2,2	$-10,3099 + 0,9129762x$	0,91	0,9	$-6,44511 + 1,10062x$
20 min	0,99	3,2	$-8,92473 + 1,12778x$	0,89	1,0	$-8,92473 + 1,12778x$
30 min	0,98	3,2	$-0,552592 + 0,900857x$	0,87	1,1	$-9,22532 + 1,12816x$

Quadro 24 – Resultados da variação do período de aquecimento na rede, sentido: BR-101 – Ilha

Período de Aquecimento	Validação – Volume de tráfego			Validação - Velocidade		
	R ²	RMS	Equação	R ²	RMS	Equação
8 min	0,98	2,8	$-72,1112 + 0,970698x$	0,91	1,1	$-10,21599 + 1,15998x$
10 min	0,98	2,9	$-69,5251 + 0,966513x$	0,90	1,1	$-11,5418 + 1,17308x$
20 min	0,98	2,9	$-63,8063 + 0,948622x$	0,86	1,2	$-14,3191 + 1,20253x$
30 min	0,98	2,9	$-59,3681 + 0,927419x$	0,78	1,5	$-15,6508 + 1,20876x$

Diante dos resultados dos testes da variação do tempo de aquecimento, utilizou-se o período de 8 minutos na microsimulação.

4.5.4.3 Resultados da validação

Os resultados do processo de validação são apresentados por meio de gráficos que ilustram no eixo “y” a situação simulada do tráfego e no eixo “x” a situação real. Também é apresentado no gráfico a linha de regressão com a respectiva equação e o coeficiente de determinação (R²).

Os pontos apresentados nos gráficos são identificados como detectores, cada detector representa um ponto de medição de registro de volume de tráfego e de velocidade.

Nos gráficos 3 a 6 são ilustrados os resultados de validação para volume e velocidade da microsimulação para os sentidos Ilha – BR-101 e BR-101 – Ilha.

Os resultados dos gráficos de validação mostram que determinados pontos apresentam uma maior dispersão na validação dos resultados de volume de tráfego e de velocidade, contribuindo assim, no resultado do coeficiente determinação. Os pontos destacados nos gráficos por meio de marcações representam alguns desses pontos de maior dispersão.

- Validação dos volumes

No processo de validação dos volumes de tráfego no microssimulador os resultados do coeficiente determinação deveriam ficar próximo a um $R^2 = 1,0$, em função da modelagem dos dados de entrada terem sido feitas por estados de tráfego, situação essa onde estamos controlando o fluxo que passa em todas as seções da malha dentro da hora de análise.

No sentido Ilha – BR-101 os resultados ilustrados no gráfico 3 mostram a validação para o volume de tráfego, indicando um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,99$.

De acordo ainda com o gráfico 3, observa-se 3 (três) pontos destacados, identificados como detectores d2, d611 e d511, que são exemplos de pontos que estão contribuindo para uma maior dispersão na reta, conforme os resultados apresentados no quadro 25.

Quadro 25 – Diferença entre os volumes dos detectores d2, d511 e d611 na validação.

Id detector	Volume dos dados reais	Volume calculado pelo experimento	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)
d2	2.527	1.849,8	-677,2	-26,79
d511	4.482	3.694,3	-787,7	-17,57
d611	4.227	3.425,8	-801,2	-18,95

Já no sentido BR-101 - Ilha os resultados ilustrados no gráfico 4 mostram a validação para o volume de tráfego, indicando um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,98$, também observa-se 2 (dois) pontos destacados, identificados como detectores d412 e d512, que são exemplos de pontos que estão contribuindo para uma maior dispersão na reta, conforme os resultados apresentados no quadro 26.

Quadro 26 – Diferença entre os volumes dos detectores d412 e d512 na validação.

Id detector	Volume dos dados reais	Volume calculado pelo experimento	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)
d412	3.708	2.635,1	-1.072,9	-28,93
d512	3.408	2.610,2	-797,8	-23,40

Gráfico 3 – Validação dos volumes em equivalente de unidade de carro de passeio, situação simulada x situação real (Sentido: Ilha – BR-101)

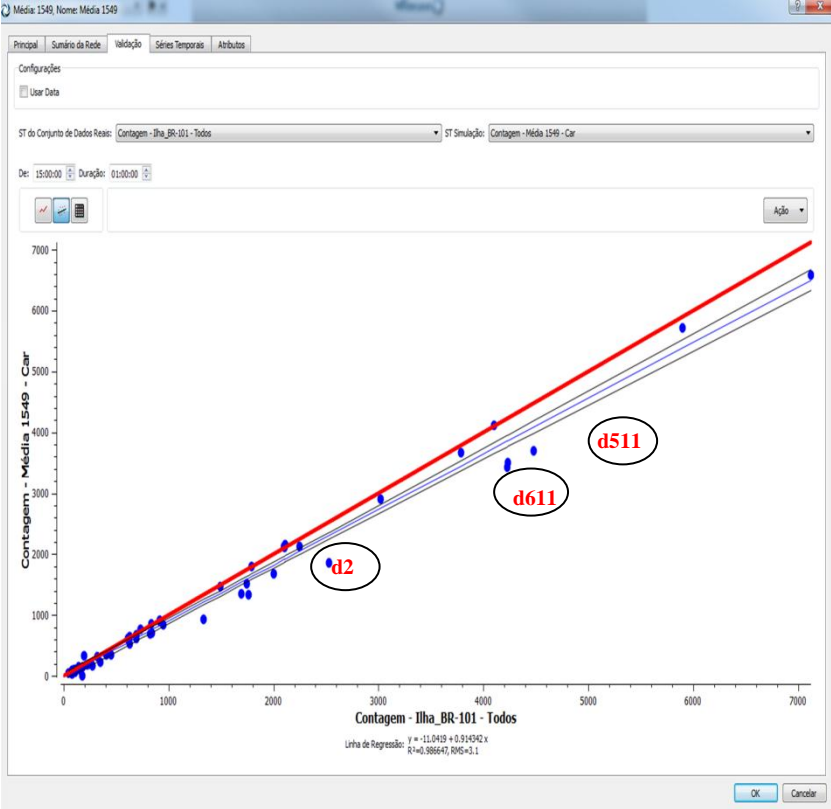
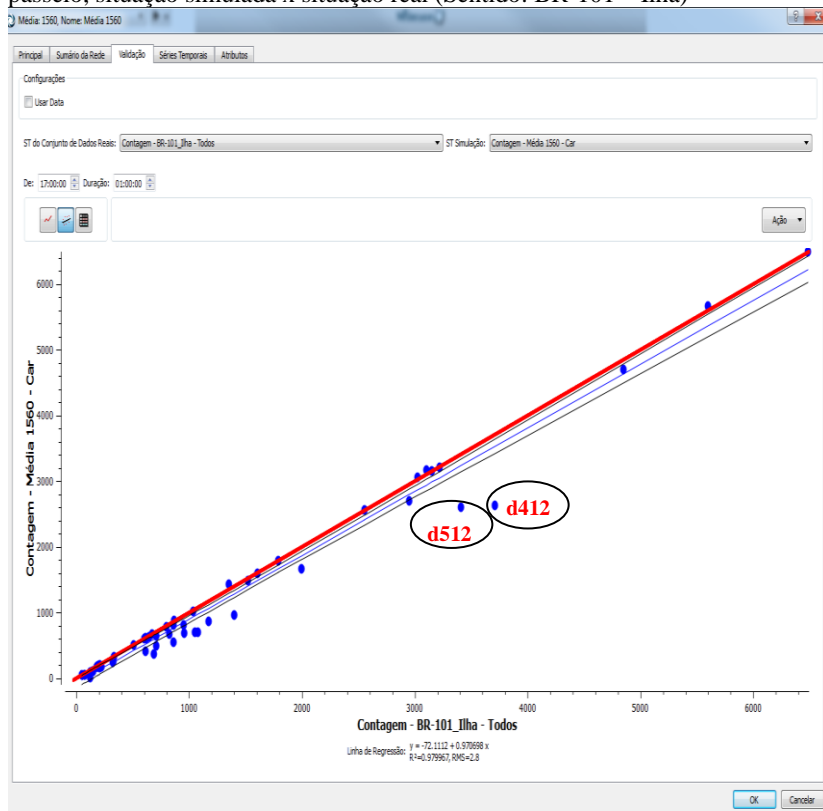


Gráfico 4 – Validação dos volumes em equivalente de unidade de carro de passeio, situação simulada x situação real (Sentido: BR-101 – Ilha)



- Validação da velocidade

No sentido Ilha – BR-101 os resultados ilustrados no gráfico 5 mostram a validação dos resultados para a velocidade média, indicando um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,91$. Os resultados também mostram que determinados pontos apresentaram uma maior dispersão na reta.

No gráfico 5 são destacados alguns pontos que apresentaram uma maior dispersão no processo de validação da velocidade, identificados como detectores d23, d73 e d511, conforme os resultados apresentados no quadro 27.

Quadro 27 – Diferença entre velocidade dos detectores d23, d73 e d511 na validação.

Id detector	Velocidade dados reais	Velocidade calculada pelo experimento	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)
d23	60	48,52	-11,47	-19,12
d73	58	41,98	-16,01	-27,61
d511	50	41,83	-8,16	-16,33

Já no sentido Ilha – BR-101 os resultados ilustrados no gráfico 8 mostram a validação dos resultados para a velocidade média, indicando um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,91$. Os resultados também mostram que determinados pontos apresentaram uma maior dispersão na reta.

No gráfico 6 são destacados alguns pontos que apresentaram uma maior dispersão no processo de validação da velocidade, identificados como detectores d32, d39, d66, d72, d96 e d612, conforme os resultados apresentados no quadro 28.

Quadro 28 – Diferença entre velocidade dos detectores d32, d39, d66, d72, d96 e d612 na validação.

Id detector	Velocidade dados reais	Velocidade calculada pelo experimento	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)
d32	30	33,68	3,68	12,27
d39	57	65,51	8,51	14,93
d66	82	91,88	9,88	12,05
d72	72	83,60	11,60	16,11
d96	56	65,18	9,17	16,39
d612	40	30,87	-9,12	-22,81

Gráfico 5 – Validação da velocidade dos veículos, situação simulada x situação real (Sentido: Ilha – BR-101)

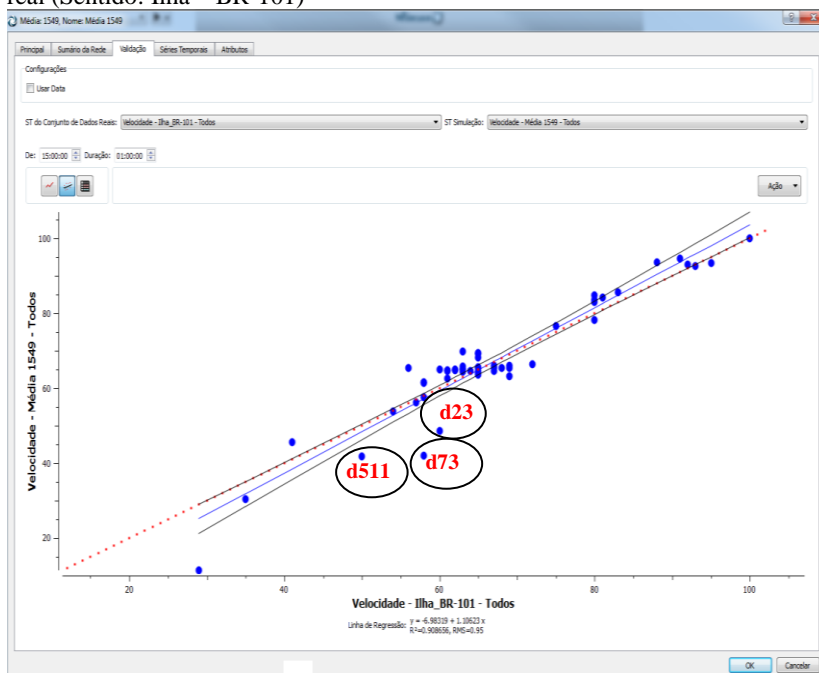
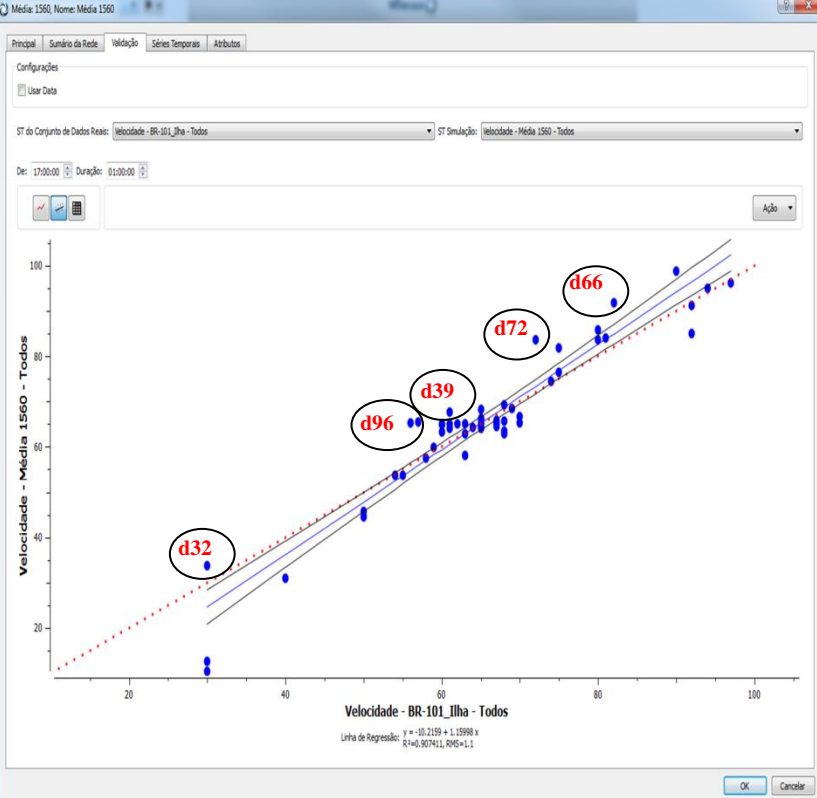


Gráfico 6 – Validação da velocidade dos veículos, situação simulada x situação real (Sentido: BR-101 – Ilha)



4.5.5 Resultados de saída

A microssimulação no AIMSUN quando finaliza o seu processo de cálculo gera um arquivo de saída com formato *SQLite*. No respectivo arquivo de saída contém diversas informações, tais como; contagem de entrada, densidade, distância total viajada, fila média, fila virtual máxima, fila virtual média, fluxo, fluxo de entrada, movimento de perdidos, número de paradas, tempo de atraso, tempo de viagem, tempo parado, tempo total de viagem, veículos aguardando para entrar, veículos dentro, veículos fora, veículos perdidos dentro, veículos perdidos fora, velocidade e velocidade harmônica. Para o estudo foram analisadas as características de tráfego de densidade, velocidade e fluxo.

Para acessar o arquivo gerado pela microssimulação utilizou-se o *SQLite Manager* que é uma extensão para o *Mozilla Firefox* que permite o gerenciamento por meio do navegador de qualquer banco de dados *SQLite* existente no computador.

A seguir nas Figuras 22 e 23 são ilustrados as janelas da estrutura dos dados de saída da microssimulação para os sentidos Ilha – BR-101 e BR-101 – Ilha, através do arquivo *SQLite* utilizando o *SQLite Manager* do *Mozilla Firefox*.

Na janela da estrutura de dados de saída das Figuras 28 e 29 podemos observar que existe 7 (sete) colunas denominadas de *did*, *sid*, *ent*, *oid*, *flow*, *speed* e *density*. A primeira coluna “*did*” refere-se ao ID de identificação do objeto que gera os dados, a segunda coluna “*sid*” refere-se ao tipo de veículo (o número 0 significa para todos os veículos e a quantidade de veículos), já a terceira coluna “*ent*” refere-se ao intervalo de tempo de 1 a N (sendo que N é o número de intervalos de tempo e com 0 a agregação de todos os intervalos), na quarta coluna “*oid*” refere-se ao identificador de seção, as últimas 3 (três) colunas referem-se as características de tráfego avaliadas no estudo “*flow*, *speed* e *density*”, fluxo, velocidade e densidade.

Figura 28 – Estrutura dos dados de saída, sentido Ilha – BR-101

SQLite Manager - F:\Mestrado\Banco_Revista\Simulação\Sem Caminhos\Revista_Fatores_Equivalência_UCP\44Tempo de Reação_0,8_segundos\Via_Espresso.sqlite

Database Table Index View Trigger Tools Help

Directory (Select Profile Database) Go

Structure Browse & Search Execute SQL DB Settings

Via_Espresso.sqlite

Master Table (1)

Tables (11)

- DETEQUIPEH
- META_COLS
- META_INFO
- META_SUB_INFO
- MIDETEC
- MILANE
- MINDUCE
- MISECT
- MIDVIS
- MITURN
- SIM_INFO
- Views (6)
- Indexes (0)
- Triggers (0)

Enter SQL

Select Data Manipulation Create/Alter Drop Reindex PRAGMA

SELECT did,sid,ent,oid,flow,speed,density FROM MISECT WHERE did=1549 AND sid=0 AND ent=1 AND oid IN (531,1441,1081,515,1096,472,1447,1451,477,1111,1386,1465,1462,1459,403,386,402,389,1153,539,1186,599,1476,618,633,1472,1186,965)

Run SQL Actions Last Error: not an error

did	sid	ent	oid	flow	speed	density
1549	0	1	1081	342.2	68.843651653807719	35.329817657896392
1549	0	1	1096	147.7	75.46388963422	212459262235932
1549	0	1	1111	963.2	131.862594978954538	84.38541672484716
1549	0	1	1153	157.8	67.55633594688	12.376802045450304
1549	0	1	1186	926.3	71.8152626980184	133.48107818888057
1549	0	1	1186	1859.8	78.823855318610972	11.823705366888955
1549	0	1	1386	4371.6	64.761717875985543	26.60986148218314
1549	0	1	1441	3805.1	43.50786841897076	71.54148833965756
1549	0	1	1447	3724.4	38.139538014219494	72.5762319720888
1549	0	1	1451	3879.1	36.2305418057852	74.2062087598847
1549	0	1	1459	4368.2	82.17888333873357	29.225625009574617
1549	0	1	1462	4370.1	77.87733986128942	29.85510534101032
1549	0	1	1465	4371.5	71.40876822286984	32.2236722288746
1549	0	1	1472	3279.8	86.5440328081523	29.359633674913617
1549	0	1	1476	4374.2	84.57838557169372	23.159493638973886
1549	0	1	1331	3824.3	44.693798388612745	88.533144295494036
1549	0	1	388	4253.5	61.81422200801206	38.15817888485426
1549	0	1	399	3714	75.82488760159488	26.54340716278873
1549	0	1	401	523	65.87958387171823	8.007754478154579
1549	0	1	403	1016.6	28.61581262101048	4.142486374337125
1549	0	1	472	3747.2	38.423624425107772	70.42004701511737
1549	0	1	477	3469.7	59.029723856666	82.88472018598675
1549	0	1	515	3807.6	43.93080739888138	145.84516079629547

SQLite 3.8.9 Gecko 38.0.5 0.8.3.1-signed Exclusive Number of Rows Returned: 28 ET: 3050 ms

Fonte: Dados do autor (2014)

Figura 29 – Estrutura dos dados de saída, sentido BR-101 – Ilha

Enter SQL

```
SELECT did,ent,oid,flow,speed,density FROM MISECT WHERE did=1560 AND sid=0 AND ent=1 AND oid IN (1057,138,1412,424,412,1089,1529,1536,1409,454,847,1105,1523,1406,1114,1520,1537,1403,1117,407,1132,596,1126,1514,1511,1213,572,1508,1317,606,1502,615,1409,1177,1310,637,640)
```

Run SQL Actions Last Error not an error

did	sid	ent	oid	flow	speed	density
1560	0	1	1057	4703.7	84.70709143420744	14.036166047855014
1560	0	1	1099	162.1	74.00958350243969	2.2010760310206026
1560	0	1	1105	182.8	66.0341573256162	2.7876383079795374
1560	0	1	1114	103	71.59808635955759	1.446947128655352
1560	0	1	1117	811.4	62.9734483075961	12.95890797738028
1560	0	1	1126	47.2	69.43191347450353	0.692562945696202
1560	0	1	1132	888.3	65.24741286789902	10.601024890030248
1560	0	1	1177	672.1	64.60366177393422	10.4082830288126
1560	0	1	1213	2633.9	91.53476860213763	14.898707586726295
1560	0	1	1310	1763.8	97.0260164960540	9.167589393866016
1560	0	1	1317	2028.4	100.55132536232024	10.143958028587133
1560	0	1	1403	2712.7	94.44279877672783	14.507418667104523
1560	0	1	1406	2810.1	99.3634248017851	13.195572143360186
1560	0	1	1409	2548.2	96.940123157945044	13.26868844052967
1560	0	1	1412	4044.7	93.704676231179	14.50781463837337
1560	0	1	1489	1765.3	100.03644737576597	8.87230747466867
1560	0	1	1502	2436	97.80221457711574	8.28654219448796
1560	0	1	1508	2027.8	101.07296974732882	10.084136546376502
1560	0	1	1511	2635.8	94.2115405726442	14.160289651045682
1560	0	1	1514	2635.1	96.6134425837016	13.757018211212132
1560	0	1	1517	2712.5	97.8273089003073	13.965296403770585
1560	0	1	1520	2713	98.6838947735961	13.80529120779904

SQLite 3.8.9 Gecko 38.0.5 0.8.3.1-signed Exclusive Number of Rows Returned: 37 ET: 2156 ms

Fonte: Dados do autor (2014)

Os resultados de saída foram obtidos para cada seção selecionada em função do seu respectivo segmento para as características de tráfego de densidade, velocidade e fluxo, conforme apresentado nos quadros 29 e 30.

Quadro 29 – Resultados de fluxo, velocidade e densidade no sentido: Ilha – BR-101

Replicação Média	Seção	Fluxo (veh/h)	Velocidade (km/h)	Densidade (veh/km)
1549	1081	342,20	68,84	5,32
1549	1096	147,70	73,49	2,02
1549	1111	903,20	13,46	94,39
1549	1153	157,80	67,55	2,38
1549	1168	929,30	71,82	133,40
1549	1186	1.850,80	78,83	11,82
1549	1386	5.250,00	64,76	36,61
1549	1441	5.450,00	43,51	71,54
1549	1447	4.700,00	36,20	72,58
1549	1451	4.650,00	36,35	74,31
1549	1459	4.850,00	82,18	29,23
1549	1462	5.195,00	77,88	29,86
1549	1465	5.324,00	71,41	32,22
1549	1472	6.450,00	86,54	20,56
1549	1476	6.580,00	94,57	23,20
1549	331	4.500,00	44,69	68,53
1549	398	4.850,00	81,81	30,36
1549	399	4.980,00	75,83	36,54
1549	401	523,00	65,81	8,01
1549	403	105,60	28,61	4,14
1549	472	5.340,00	38,42	70,43
1549	477	3.468,70	50,03	82,80
1549	515	5.450,00	43,53	45,06
1549	539	4.904,00	55,27	68,03
1549	599	5.950,00	84,09	26,30
1549	618	904,80	63,97	14,24
1549	623	5.915,00	91,71	19,50
1549	965	5.848,00	96,48	17,84

Quadro 30 – Resultados de fluxo, velocidade e densidade no sentido: BR-101-Ilha

Replicação Média	Seção	Fluxo (veh/h)	Velocidade (km/h)	Densidade (veh/km)
1560	1057	3.250,00	84,71	14,04
1560	1099	162,10	74,01	22,01
1560	1105	182,80	66,03	27,88
1560	1114	103,00	71,60	14,47
1560	1117	811,40	62,97	12,96
1560	1126	47,20	69,43	0,68
1560	1132	688,30	65,25	10,60
1560	1177	672,10	64,60	10,47
1560	1213	4.125,00	91,52	14,90
1560	1310	3.450,00	97,03	9,17
1560	1317	4.750,00	100,55	10,14
1560	1403	4.105,00	94,44	14,57
1560	1406	2.610,10	9,94	13,20
1560	1409	4.250,00	96,94	13,27
1560	1412	5.100,00	93,70	14,51
1560	1499	3.650,00	100,04	8,87
1560	1502	4.720,00	97,80	8,39
1560	1508	3.650,00	101,07	10,08
1560	1511	3.950,00	94,21	14,16
1560	1514	4.010,00	96,61	13,76
1560	1517	3.825,00	97,83	13,97
1560	1520	3.830,00	98,88	13,81
1560	1523	3.830,00	99,33	13,21
1560	1526	3.650,00	97,85	13,12
1560	1529	3.521,00	99,25	12,91
1560	336	658,60	63,97	10,38
1560	407	3.040,00	101,39	9,42
1560	412	3.500,00	100,41	11,94
1560	424	1.793,70	56,59	15,96

Quadro 30 – Resultados de fluxo, velocidade e densidade no sentido: BR-101-Ilha - continuação

Replicação Média	Seção	Fluxo (veh/h)	Velocidade (km/h)	Densidade (veh/km)
1560	454	246,60	81,21	3,07
1560	556	2.850,00	98,25	13,26
1560	572	606,30	63,95	9,55
1560	606	408,00	76,23	5,41
1560	615	4.805,00	95,05	8,66
1560	637	702,80	65,78	5,37
1560	640	1.062,00	96,68	5,51
1560	847	4.252,00	97,88	9,61

4.6 Avaliação das Características de Tráfego do Método HCM-2010 e do Microssimulador aimsun

A avaliação das características obtidas com o método do HCM-2010 e pelo o microssimulador AIMSUN teve como objetivo verificar se existe uma correlação entre alguns parâmetros.

4.6.1 Parâmetros de comparação

As características de tráfego analisadas entre o método HCM-2010 e o microssimulador AIMSUN foram densidade e velocidade. Também foi analisado o fluxo em equivalente de unidade de carro de passeio com o fluxo do microssimulador.

4.6.2 Resultados

Conforme os resultados obtidos pelo o método HCM-2010 e pelo o microssimulador AIMSUN elaborou-se gráficos com a finalidade de avaliar a correlação existente entre as caraterísticas de tráfego de densidade, velocidade e fluxo, através do valor do coeficiente de determinação (R^2) e obter a equação da reta. As comparações realizadas

consideraram 3 (três) situações para os sentidos Ilha – BR-101 e BR-101 – Ilha:

- Situação 1: Considerando todos os segmentos de ambas as pistas;
- Situação 2: Excluindo os segmentos de sobreposição de rampas de ambas as pistas;
- Situação 3: Considerando os segmentos de sobreposição de rampas com a densidade da maior rampa na área de influência de ambas as pistas.

Para a situação 1, os resultados obtidos nos gráficos 7 a 9, mostram que o coeficiente de determinação para fluxo foi de $R^2 = 0,98$, para a característica de tráfego de densidade o coeficiente foi de $R^2 = 0,42$ e para a velocidade o coeficiente obtido foi $R^2 = 0,06$. Nessa situação, apenas o fluxo apresentou uma boa correlação, o valor do R^2 ficou próximo a $R^2 = 1,0$. Já para a característica de tráfego de densidade o valor do coeficiente ficou muito abaixo de $R^2 = 1,0$, e a para a velocidade não obteve-se correlação.

Para a situação 2, os resultados obtidos nos gráficos 10 a 12, mostram que o coeficiente de determinação para fluxo foi de $R^2 = 0,99$, para a característica de tráfego de densidade o coeficiente foi de $R^2 = 0,89$ e para a velocidade o coeficiente obtido foi $R^2 = 0,56$. Nessa situação, o fluxo também apresentou uma boa correlação do valor do R^2 ficando muito próximo a $R^2 = 1,0$. Para as características de tráfego de densidade e velocidade verificou-se que houve uma melhora significativa nos resultados dos coeficientes de determinação, comparados com os resultados obtidos na situação 1.

Para a situação 3, os resultados obtidos nos gráficos 13 a 15, mostram que o coeficiente de determinação para fluxo foi de $R^2 = 0,98$, para a característica de tráfego de densidade o coeficiente foi de $R^2 = 0,48$ e para a velocidade o coeficiente obtido foi $R^2 = 0,05$. Nessa situação, o fluxo apresentou uma boa correlação, o valor do R^2 ficou próximo a $R^2 = 1,0$. Já para a característica de tráfego de densidade o valor do coeficiente ficou muito abaixo de $R^2 = 1,0$, e a para a velocidade não obteve-se correlação.

Por fim, diante dos resultados obtidos para as 3 (três) situações avaliadas, a situação 2 que considerou a exclusão dos

segmentos de sobreposição rampas apresentou melhores resultados de correlação para fluxo e densidade entre o método HCM-2010 e pelo o microsimulador AIMSUN.

Para a característica de tráfego de velocidade não foi possível indicar correlação em nenhuma das situações analisadas entre o método HCM-2010 e pelo o microsimulador AIMSUN, a situação 2 foi a que apresentou um melhor resultado no coeficiente determinação.

Gráfico 7 – Correlação de fluxo para situação 1

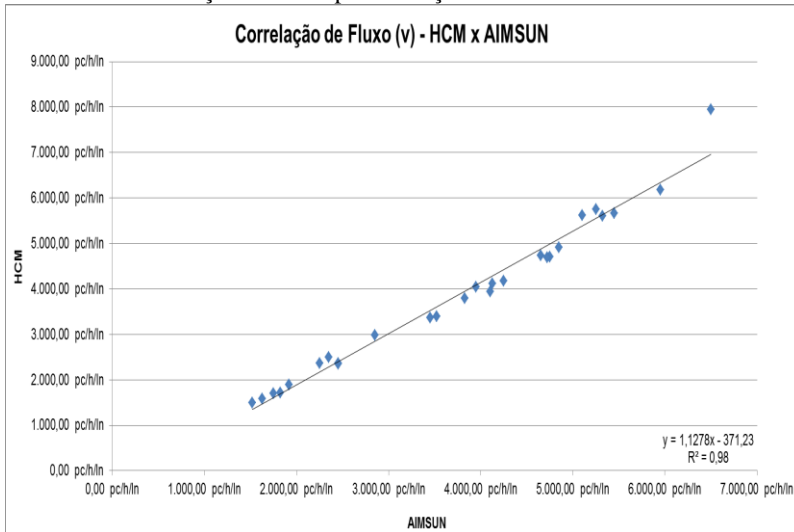


Gráfico 8 – Correlação da densidade para situação 1

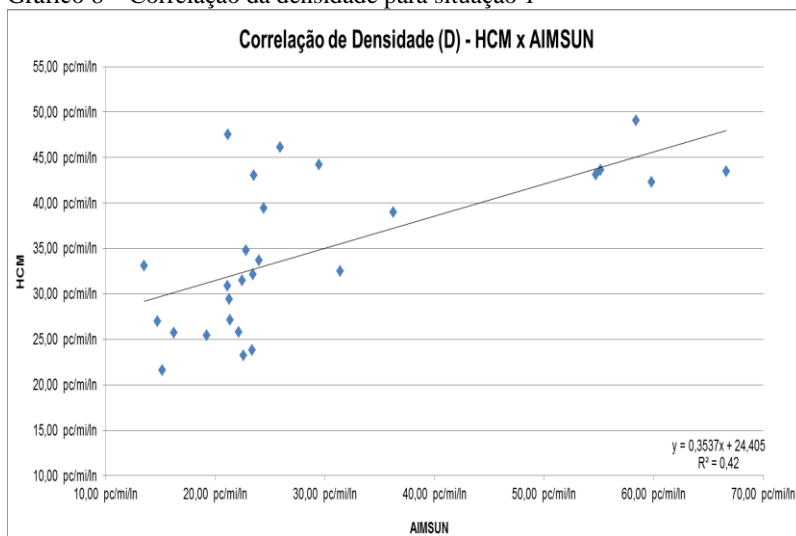


Gráfico 9 – Correlação da velocidade para situação 1

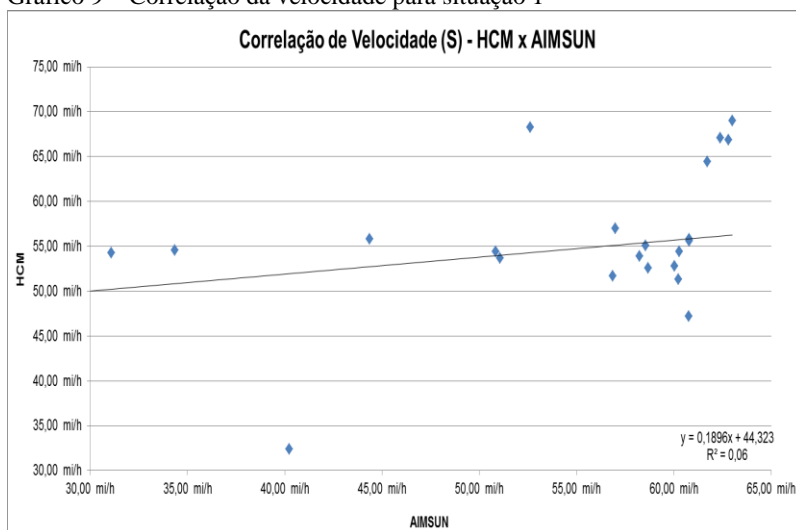


Gráfico 10 – Correlação de fluxo para situação 2

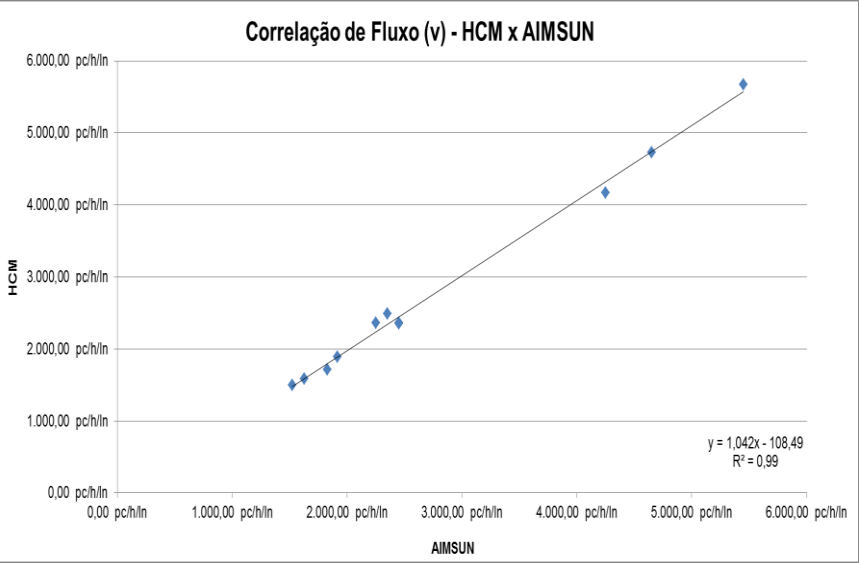


Gráfico 11 – Correlação da densidade para situação 2

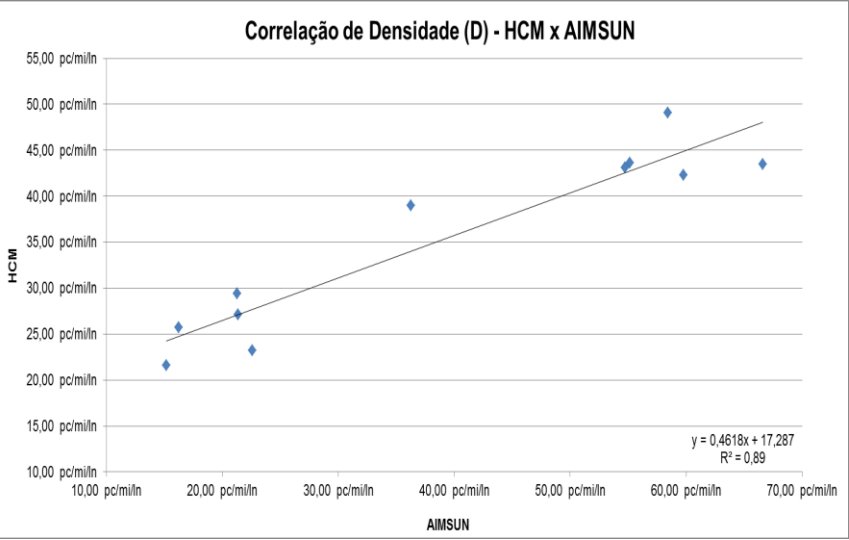


Gráfico 12 – Correlação da velocidade para situação 2

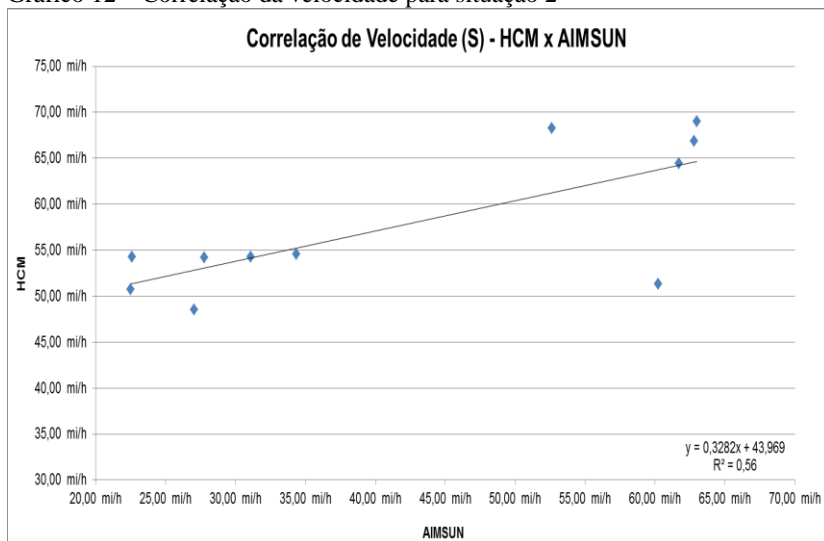


Gráfico 13 – Correlação de fluxo para situação 3

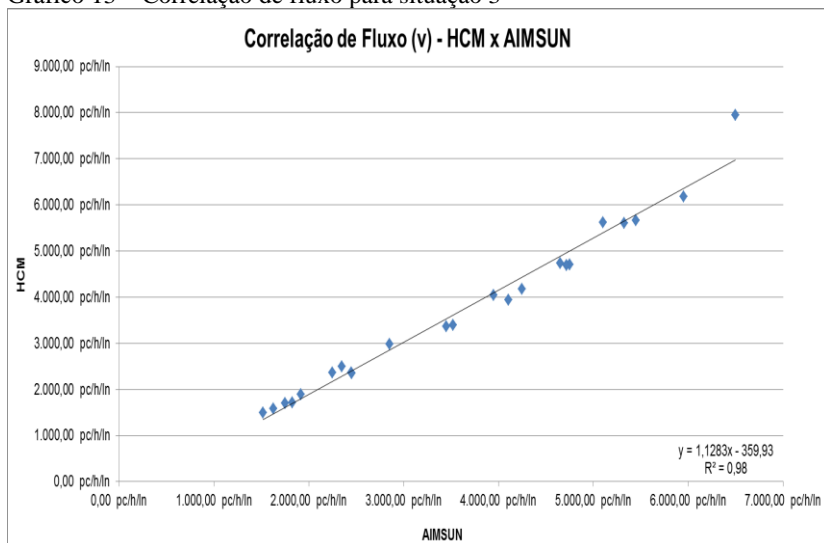


Gráfico 14 – Correlação da densidade para situação 3

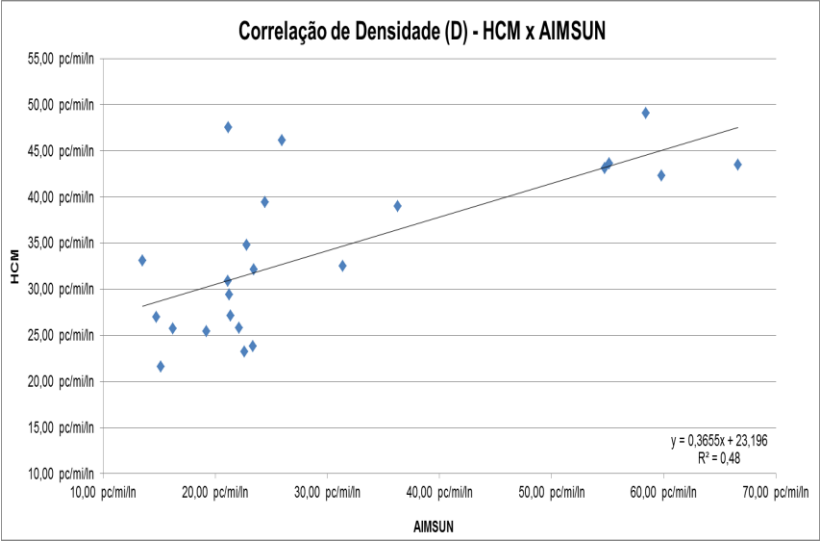
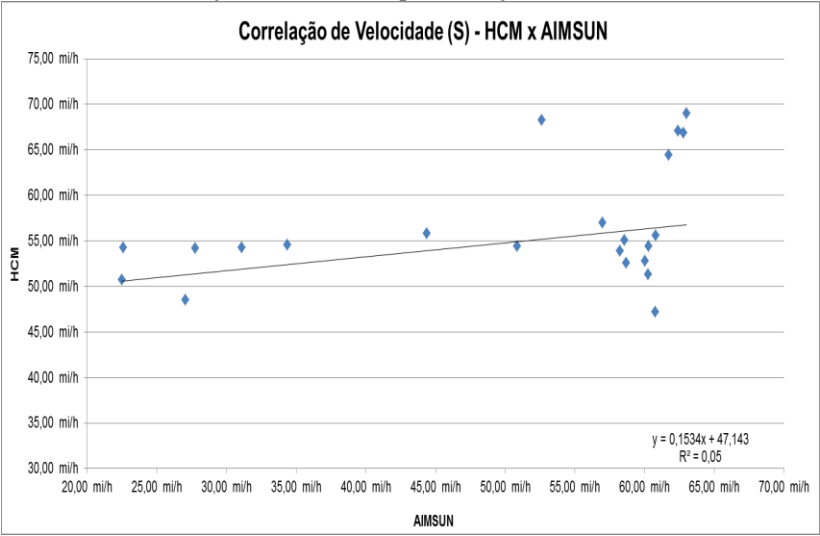


Gráfico 15 – Correlação da velocidade para situação 3



A seguir nos quadros 31 a 36 são apresentados uma avaliação da percentagem de aumento e diminuição dos valores das características

de tráfego de densidade, velocidade e também de fluxo equivalentes em carros de passeio, entre o método HCM-2010 e pelo o microssimulador AIMSUN.

Os resultados apresentados nos quadros 31 e 32 mostram que os valores obtidos para a característica de tráfego de densidade com o método HCM-2010 apresentaram uma tendência de aumento comparadas com as obtidas com o microssimulador AIMSUN. Considerando os segmentos analisados para ambas as pistas, um total de 27, verificou-se que em 22 segmentos as densidades obtidas com o método HCM-2010 foram superiores com as obtidas com o microssimulador AIMSUN. Já para os outros 5 segmentos os valores das densidades obtidas com o método HCM-2010 foram inferiores com as do microssimulador AIMSUN.

Os resultados apresentados nos quadros 33 e 34 mostram que os valores obtidos para a característica de tráfego de velocidade entre o método HCM-2010 e o microssimulador AIMSUN não apresentaram uma tendência definida de aumento ou diminuição dos respectivos valores. Os segmentos analisados para ambas as pistas, um total de 27, verificou-se que em 15 segmentos as velocidades obtidas com o método HCM-2010 foram superiores com as obtidas com o microssimulador AIMSUN. Já para os outros 12 segmentos os valores das velocidades obtidas com o método HCM-2010 foram inferiores com as do microssimulador AIMSUN.

Os resultados apresentados nos quadros 35 e 36 mostram que os valores obtidos para fluxo equivalentes em carros de passeio com os valores de fluxo calculados pelo microssimulador AIMSUN não apresentaram uma tendência definida de aumento ou diminuição dos respectivos valores. Portanto, verificou-se que em 12 segmentos o fluxo calculado pelo microssimulador foi inferior ao fluxo calculado equivalentes em carros de passeio. Já para os outros 15 segmentos o fluxo obtido com o microssimulador foi superior ao fluxo calculado equivalentes em carros de passeio.

Quadro 31 – Avaliação dos resultados de densidade (HCM x AIMSUN), sentido: Ilha – BR-101 (15hs00 as 16hs00)

Nº Segmento	km i	km f	Extensão (m)	Segmentos	HCM		AIMSUN		% HCM - AIMSUN
					Densidade(D) pc/mi/ln		Densidade (D) pc/mi/ln		
1	0,000	0,448	448	<i>Freeway</i>	43,60		55,15		26,49
2	0,448	1,078	630	Entrelaçamento	39,00		36,26		-7,03
3	1,078	1,400	322	<i>Freeway</i>	49,10		58,40		18,94
4	1,400	1,857	457	Rampa de Saída	42,30		59,79		41,35
5	1,857	2,276	419	<i>Freeway</i>	43,50		66,63		53,17
6	2,276	2,733	457	Rampa de Entrada	44,20		29,46		-33,35
7	2,393	2,850	457	Rampa de Saída	46,10		25,93		-43,75
8	2,513	2,970	457	Rampa de Saída	43,00		23,52		-45,30
9	2,813	3,270	457	Rampa de Saída	39,40		24,43		-37,99
10	3,270	4,170	900	<i>Freeway</i>	43,10		54,74		27,01
11	4,170	4,627	457	Rampa de Entrada	47,50		21,16		-55,45
12	4,420	5,427	1.007	Entrelaçamento	32,50		31,38		-3,45

Quadro 32 – Avaliação dos resultados de densidade (HCM x AIMSUN), sentido: BR-101 - Ilha (17hs00 as 18hs00)

Nº Segmento	km i	km f	Extensão (m)	Segmentos	HCM		AIMSUN		% HCM - AIMSUN
					Densidade (D) pc/mi/ln	Densidade (D) pc/mi/ln			
1	5,262	4,805	457	Rampa de Entrada	27,00		14,75		-45,37
2	5,035	4,395	640	Entrelaçamento	33,10		13,50		-59,21
3	4,395	3,874	521	Freeway	25,70		16,23		-36,85
4	3,874	3,417	457	Rampa de Entrada	33,70		23,98		-28,84
5	3,773	3,316	457	Rampa de Saída	34,80		22,79		-34,51
6	3,621	3,164	457	Rampa de Saída	25,80		22,14		-14,19
7	3,164	2,806	358	Freeway	21,60		15,16		-29,81
8	2,806	2,349	457	Rampa de Entrada	32,10		23,44		-26,98
9	2,559	2,102	457	Rampa de Saída	31,50		22,47		-28,67
10	2,102	1,605	497	Freeway	29,40		21,26		-27,69
11	1,605	1,108	497	Entrelaçamento	27,10		21,35		-21,22
12	1,244	0,787	457	Rampa de Saída	30,90		21,11		-31,68
13	0,787	0,320	467	Freeway	25,40		19,22		-24,33
14	0,320	0,000	320	Rampa de Entrada	23,80		23,35		-1,89
15	0,020	0,000	20	Freeway	23,20		22,59		-2,63

Quadro 33 – Avaliação dos resultados de velocidade (HCM x AIMSUN), sentido: Ilha – BR-101 (15hs00 as 16hs00)

Nº Segmento	km i	km f	Extensão	Segmentos	HCM	AIMSUN	% HCM - AIMSUN
					Velocidade (S) mi/h	Velocidade (S) mi/h	
1	0,000	0,448	448	Freeway	54,20	27,77	-48,76
2	0,448	1,078	630	Entrelaçamento	48,50	27,05	-44,23
3	1,078	1,400	322	Freeway	50,70	22,49	-55,64
4	1,400	1,857	457	Rampa de Saída	54,30	22,59	-58,40
5	1,857	2,276	419	Freeway	54,30	31,09	-42,74
6	2,276	2,733	457	Rampa de Entrada	32,40	40,24	24,20
7	2,393	2,850	457	Rampa de Saída	55,80	44,37	-20,48
8	2,513	2,970	457	Rampa de Saída	53,70	51,06	-4,92
9	2,813	3,270	457	Rampa de Saída	54,40	50,84	-6,54
10	3,270	4,170	900	Freeway	54,60	34,35	-37,09
11	4,170	4,627	457	Rampa de Entrada	18,30	52,25	185,52
12	4,420	5,427	1007	Entrelaçamento	57,00	56,99	-0,02

Quadro 34 – Avaliação dos resultados de velocidade (HCM x AIMSUN), sentido: BR-101 - Ilha (17hs00 as 18hs00)

Nº Segmento	km i	km f	Extensão	Segmentos	HCM	AIMSUN	% HCM - AIMSUN
					Velocidade (S) mi/h	Velocidade (S) mi/h	
1	5,262	4,805	457	Rampa de Entrada	54,40	60,29	10,83
2	5,035	4,395	640	Entrelaçamento	47,20	60,77	28,75
3	4,395	3,874	521	Freeway	66,90	62,80	-6,13
4	3,874	3,417	457	Rampa de Entrada	51,70	56,87	10,00
5	3,773	3,316	457	Rampa de Saída	55,10	58,54	6,24
6	3,621	3,164	457	Rampa de Saída	52,80	60,03	13,69
7	3,164	2,806	358	Freeway	69,00	63,00	-8,70
8	2,806	2,349	457	Rampa de Entrada	52,60	58,68	11,56
9	2,559	2,102	457	Rampa de Saída	55,80	60,79	8,94
10	2,102	1,605	497	Freeway	64,40	61,72	-4,16
11	1,605	1,108	497	Entrelaçamento	51,30	60,24	17,43
12	1,244	0,787	457	Rampa de Saída	55,60	60,80	9,35
13	0,787	0,320	467	Freeway	67,10	62,39	-7,02
14	0,320	0,000	320	Rampa de Entrada	53,90	58,23	8,03
15	0,020	0,000	20	Freeway	68,30	52,63	-22,94

Quadro 35 – Avaliação dos resultados de fluxo em equivalente de unidade de carro de passeio com a taxa de fluxo do microsimulador AIMSUN, sentido: Ilha – BR-101 (15hs00 as 16hs00)

Nº Segmento	km i	km f	Extensão (m)	Segmentos	Fluxo em equivalente de unidade de carro de passeio (v)	AIMSUN - Fluxo em equivalente de unidade de carro de passeio (v)	% HCM - AIMSUN
1	0,000	0,448	448	<i>Freeway</i>	2.366,00 pc/h/ln	2.250,00 pc/h/ln	-4,90
2	0,448	1,078	630	Entrelaçamento	5.670,00 pc/h	5.450,00 pc/h	-3,88
3	1,078	1,400	322	<i>Freeway</i>	2.490,00 pc/h/ln	2.350,00 pc/h/ln	-5,62
4	1,400	1,857	457	Rampa de Saída	4.729,00 pc/h	4.650,00 pc/h	-1,67
5	1,857	2,276	419	<i>Freeway</i>	2.364,00 pc/h/ln	2.450,00 pc/h/ln	3,64
6	2,276	2,733	457	Rampa de Entrada	5.748,00 pc/h	5.250,00 pc/h	-8,66
7	2,393	2,850	457	Rampa de Saída	5.610,00 pc/h	5.324,00 pc/h	-5,10
8	2,513	2,970	457	Rampa de Saída	4.910,00 pc/h	4.850,00 pc/h	-1,22
9	2,813	3,270	457	Rampa de Saída	4.704,00 pc/h	4.750,00 pc/h	0,98
10	3,270	4,170	900	<i>Freeway</i>	2.352,00 pc/h/ln	2.452,00 pc/h/ln	4,25
11	4,170	4,627	457	Rampa de Entrada	6.186,00 pc/h	5.950,00 pc/h	-3,82
12	4,420	5,427	1007	Entrelaçamento	7.945,00 pc/h	6.500,00 pc/h	-18,19

Quadro 36 – Avaliação dos resultados de fluxo em equivalente de unidade de carro de passeio com a taxa de fluxo do microssimulador AIMSUN, sentido: BR-101 – Ilha (17hs00 as 18hs00)

Nº Segmento	km i	km f	Extensão (m)	Segmentos	Fluxo em equivalente de unidade de carro de passeio (v)	AIMSUN - Fluxo em equivalente de unidade de carro de passeio (v)	% HCM - AIMSUN
1	5,262	4,805	457	Rampa de Entrada	3.372,00 pc/h	3.450,00 pc/h	2,31
2	5,035	4,395	640	Entrelaçamento	4.695,00 pc/h	4.720,00 pc/h	0,53
3	4,395	3,874	521	<i>Freeway</i>	1.718,00 pc/h/ln	1.825,00 pc/h/ln	6,23
4	3,874	3,417	457	Rampa de Entrada	4.120,00 pc/h	4.125,00 pc/h	0,12
5	3,773	3,316	457	Rampa de Saída	4.046,00 pc/h	3.950,00 pc/h	-2,37
6	3,621	3,164	457	Rampa de Saída	2.986,00 pc/h	2.850,00 pc/h	-4,55
7	3,164	2,806	358	<i>Freeway</i>	1.493,00 pc/h/ln	1.520,00 pc/h/ln	1,81
8	2,806	2,349	457	Rampa de Entrada	3.944,00 pc/h	4.105,00 pc/h	4,08
9	2,559	2,102	457	Rampa de Saída	3.787,00 pc/h	3.825,00 pc/h	1,00
10	2,102	1,605	497	<i>Freeway</i>	1.893,00 pc/h/ln	1.915,00 pc/h/ln	1,16
11	1,605	1,108	497	Entrelaçamento	4.172,00 pc/h	4.250,00 pc/h	1,87
12	1,244	0,787	457	Rampa de Saída	3.402,00 pc/h	3.521,00 pc/h	3,50
13	0,787	0,320	467	<i>Freeway</i>	1.701,00 pc/h	1.750,00 pc/h	2,88
14	0,320	0,000	320	Rampa de Entrada	5.618,00 pc/h	5.100,00 pc/h	-9,22
15	0,020	0,000	20	<i>Freeway</i>	1.587,00 pc/h/ln	1.625,00 pc/h/ln	2,39

5 CONCLUSÕES

Para a respectiva dissertação, este estudo teve como finalidade fazer uma investigação acadêmica entre as características de tráfego de densidade, velocidade e fluxo, calculadas pelo método HCM-2010 e pelo microssimulador AIMSUN.

A transformação das diferentes classes modais obtidas nas contagens de campo em unidade de carro de passeio realizada por meio de fatores de conversão possibilitou trabalhar com o volume de tráfego em uma base única. Para garantir o mesmo volume tráfego utilizado no microssimulador em UCP foi necessário considerar a proporção de caminhões e ônibus (PT) igual à zero no método HCM-2010.

Na comparação das características de tráfego de densidade, velocidade e fluxo entre o método HCM-2010 e o microssimulador AIMSUN, foram consideradas 3 (três) situações para análise, a primeira denominada de situação 1 considerou todos os segmentos, a situação 2 excluiu os segmentos de sobreposição de rampas, e a situação 3 considerou apenas a sobreposição de rampas com a densidade da maior rampa na área de influência. Portanto, para cada situação pode-se afirmar que:

- Situação 1: Para as características de tráfego de densidade e velocidade os coeficientes de determinação não indicaram correlação entre os métodos analisados. Para o fluxo em equivalentes em carros de passeio o valor obtido com o coeficiente de determinação indicou correlação com os valores calculados pelo microssimulador AIMSUN.
- Situação 2: Para a característica de tráfego de densidade e fluxo em equivalentes em carros de passeio, os valores obtidos com os coeficientes de determinação indicaram correlação com os valores calculados pelo microssimulador AIMSUN. Para a velocidade o valor obtido com coeficiente de determinação indicou baixa correlação com os valores calculados pelo microssimulador.

- Situação 3: Para densidade e velocidade os coeficientes de determinação não indicaram correlação entre os métodos analisados. Para o fluxo em equivalentes em carros de passeio o valor obtido com o coeficiente de determinação indicou correlação com os valores calculados pelo microssimulador AIMSUN.

Verificou-se que os melhores resultados de correlação entre as características de tráfego analisadas foram obtidos considerando a exclusão dos segmentos de sobreposição de rampas.

Os valores obtidos de densidade com o método HCM-2010 apresentaram uma tendência de serem superiores com as obtidas no microssimulador AIMSUN. Foram analisados 27 segmentos, em 22 segmentos as densidades obtidas com o método HCM-2010 foram superiores.

Para a velocidade e fluxo em equivalentes em carros de passeio não houve uma tendência dos valores obtidos serem superiores ou inferiores entre o método HCM-2010 e o microssimulador AIMSUN.

As dificuldades, de forma geral, encontradas no desenvolvimento da pesquisa foram:

- A impossibilidade de se realizar ensaios de campo visando obter indicadores para uma validação quantitativa com o microssimulador AIMSUN.
- O microssimulador AIMSUN apresentam uma grande gama de parâmetros que influenciam o processo de validação. No desenvolvimento da pesquisa, os parâmetros não foram ajustados, através de uma análise de sensibilidade, para identificar quais estariam influenciando nos resultados, tendo os resultados do HCM-2010 como base. Na validação apenas realizou-se uma verificação do período de aquecimento e do tempo de reação ligado ao comportamento do motorista para melhorar os resultados do coeficiente de determinação (R^2).

- Devido a limitação do tempo não foi possível proceder novas contagens de tráfego e medições sistemáticas de velocidade média para confirmar os resultados utilizados no estudo.

A pesquisa aqui apresentada foi um ponto de partida, outros estudos devem ser realizados com o objetivo verificar a comparação das características de tráfego entre o método HCM-2010 e a microsimulação. Como recomendação para trabalhos futuros, propõe-se:

- A validação do microsimulador AIMSUN através de uma análise de sensibilidade, tendo os resultados do HCM-2010 como base.
- A avaliação dos resultados do método HCM-2010 com outros programas de simulação microscópicos;
- Coletar em campo os valores dos parâmetros do simulador, quando observáveis, e compará-los com os valores calibrados.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, G. R. (2012). **Capacidade e Relação Fluxo-Velocidade em Autoestradas e Rodovias de Pista Dupla Paulistas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

AYALA, R. J. L. (2013). **Procedimento para Identificação dos Principais Parâmetros dos Microsimuladores a serem Considerados no Processo de Calibração**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação: T. DM – 004 A/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

BARCELÓ, J. (2010). **Fundamentals of Traffic Simulation, International Series in Operations Research & Management Science**. Springer Science Business Media.

BLOOMBERG, L., M. SWENSON, and B. HALDORS (2003). **Comparison of Simulation Models and the HCM**. Presented at 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

COELHO, E. C. (2009). **Avaliação dos níveis de congestionamento em vias arteriais com a utilização da micro-simulação**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA (2004a), **Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer**. Publication nº FHWA-HRT-04-038. Washington, D.C

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA (2004b), **Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software**. Publication nº FHWA-HRT-04-040. Washington, D.C

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA (2004c), **Traffic Analysis Toolbox Volume II: Decisions Support**

Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools. Publication nº FHWA-HRT-04-040. Washington, D.C

FIGUEIREDO, M. F. (2013). **Avaliação do Efeito da Variação de Parâmetros de Calibração na Qualidade dos Resultados de Estudos de Simulação de Tráfego.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Transporte e Vias de Comunicação, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal.

GASPARINI, R., (2002). **Análise da Adequabilidade do HCM para o Estudo de Vias Urbanas.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

GIPPS, P. G. (1981). **A Behavioural Car-following Model for Computer Simulation.** Transportation Research Board – Part B, Vol. 15B(2), pp. 105-111.

GIPPS, P. G. (1986). **A Model for Structure of Lane-changing Decisions.** Transportation Research – Part B, Vol. 20-B, No.5, pp. 403-414.

HALL, F. L. (1992). **Traffic Stream Characteristics.** McMaster University, Department of Civil Engineering and Department of Geography, Hamilton, Ontario, Canadá.

HARWOOD, D. W.; MAY, A.D.; ANDERSON, I.B.; LEIMAN, L. E ARCHILLA, A.R. (1999). **Capacity and Quality of Service of Two-Lane Highways.** Final Report, Project 3-55(3). National Cooperative Highway Research Program, TRB, Washington, DC, EUA.

HOURLAKIS, J., P. G. MICHALOPOULOS, and J. KOTTMANNIL (2003). **Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models.** In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1852, TRB, National Research Council, Washington, D.C.

HOLLANDER, Y.; LIU, R. (2008). **The principles of calibrating traffic microsimulation.** *Transportation - Springer*, Volume 35, Issue 3, pp 347-362.

INTEGRATION Release 2.30 For Windows:User's Guide – **Volume I:Fundamental Model Features.** February, 2010.

JACQUES, M. A. P.; AYALA, R. J. L. (2012). **Procedimento para identificação dos principais parâmetros dos microsimuladores a serem considerados no processo de Calibração.** In: Anais do XXVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Joinville, Santa Catarina: ANPET.

JILLELLA S., HOBEIKA A. (2001). **A Comparative Study of Weaving Sections in TRANSIMS and Highway Capacity Manual.** Masters Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia. EUA.

JOLOVIC, D. (2012). **Use of Microsimulation to Assess HCM 2010 Methodology for Oversaturated Freeway Segments.** Master of Science Civil and Environmental engineering, Florida Atlantic University, Florida, EUA.

KITTELSON W. K. (2001). **Historical Overview of the Committee on Highway Capacity and Quality of Service.** In: Transportation Research Circular EC018: Proceedings of the Fourth International Conference on Highway Capacity. Transportation Research Board – TRB, Washington, D.C., EUA.

KOPPULA, N. (2002). **A Comparative Analysis of Weaving Areas in HCM, TRANSIMS, CORSIM, VISSIM and INTEGRATION.** Master of Science Civil and Environmental engineering, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University Florida Atlantic University, Blacksburg, Virginia, USA.

KRAJZEWICZ, D.; HERTKORN, G.; RÖSSEL, C.; *et al.* (2002). **Simulation of urban mobility: Proc. of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling,** 183-187.

LACALLE, M. J (2003). **Calibración del Microsimulador AIMSUN para Flujo Ininterrumpido em la Ciudad de Santiago.** Dissertação de Mestrado, Escuela de Ingenieria, PUC, CHILE.

LIEBERMAN, E.; RATHI, A. K. (1997). **Traffic Simulation. The revised monograph on traffic flow theory.** EUA: Federal Highway Administration, Cap. 10.

LINDGREN, R. V.; TANTIYANUGULCHAI, S. (2003). **Microscopic Simulation of Traffic at a Suburban Interchange**. Institute of Transportation Engineers 2003 Annual Meeting and Exhibit (held in conjunction with ITE District 6 Annual Meeting), Seattle, Washington, D.C., EUA.

MACEDO, J. M.; BENTA, A.; SANTOS, L. P. (2012). **Utilização da Microssimulação no Desenvolvimento de uma Metodologia de Avaliação dos Níveis de Serviço em Autoestradas**. 7º Congresso Rodoviário Português, Lisboa, Portugal.

MAIA, F. V. B. (2007). **Calibração e Validação de Modelos de Meso e Microssimulação do Tráfego para a Avaliação de Intervenções Tático-Operacionais na Malha Viária Urbana**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

MEDEIROS, A. L. (2012). **Aplicabilidade de Algoritmos Genéticos para Calibração de Redes Viárias Urbanas Microssimuladas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

MATSIM. **MATSim - Multi-Agent Transport Simulation**, 2014a. Disponível em: <<http://www.matsim.org/>>. Acesso em: 10 out. 2014.
MATSIM. Tutorial: Learning MATSim in 8 Lessons, 2014b. Disponível em: <<http://www.matsim.org/docs/tutorials/8lessons>>. Acesso em: 10 out. 2014.

McNALLY, M. G. **The Four-step Model**. In: **Handbook of Transport Modelling**, Edited by D. A. Hensher and K. J. Button, Elsevier Science. 2. ed. Irvine, CA: Elsevier, 2007. Disponível em: <<http://www.its.uci.edu/its/publications/papers/CASA/UCI-ITS-AS-WP-07-2.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

MCLEAN, J.R. (1989). **Two-Lane Highway Traffic Operations – Theory and Practice**. GBR, Gordon & Breach Science Publishers.
MULLER, E. R. (2013). **Estudo por microssimulação do controle de fluxo principal em rodovias através de limite de velocidade variável**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação, Departamento de Engenharia de Automação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

MULLER, E. R.; CARLSON, R. C.; KRAUS, W. Jr. (2012). **Efeito dos parâmetros do modelo de seguimento veicular do simulador Aimsun na capacidade em rodovias.** In: Anais do XXVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Joinville, Santa Catarina.

PAULA, F. S. M. (2006). **Proposta de Adaptação da Metodologia do Highway Capacity Manual 2000 para Análise de Vias Arteriais Urbanas em Fortaleza.** Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

PARK, B. and QI, H (2005). **Development and Evaluation of a Procedure for the Calibration of Simulation Models.** In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1934, TRB, National Research Council, Washington, D.C. pp. 208-217.

PORTUGAL, L. da S. (2005). **Simulação de Tráfego: conceitos e técnicas de modelagem.** Ed. Interciência, Rio de Janeiro.

POYARES, C. N. (2000). **Critérios para análise dos efeitos de políticas de restrição ao uso de automóveis em áreas centrais.** Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RAJASAKRAN, R. A. (2008). **Aimsun microsimulation: A practical application: micro-simulation of the n1 freeway.** Goba (Pty) Ltd, Block B Belvedere Place, 5 Eglin Road, Sunninghill, 2157.

RODRIGUES, A. S. (2014). **Método para Elaboração de um Plano de Evacuação Emergencial em uma Usina Nuclear Utilizando Microsimulação de Tráfego.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, CE.

RODRIGUES, S. (2012) **Geometria e Simulação de Rotatórias.** Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, do Departamento de Matemática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, SP.

- ROESS, R. P. & al. (2008). **Analysis of freeway weaving sections.** Final report. NCHRP Project 3-75. Transportation Research Institute, Polytechnic University, Brooklyn, N.Y.
- ROESS, R. P. (2009). **Re-Calibration of the 75-mi/h Speed-Flow Curve and the FFS Prediction Algorithm for HCM 2010.** Research Memorandum, NCHRP Project 3-92. Polytechnic Institute of New York University, Brooklyn, N. Y, EUA.
- ROESS, R. P. & al. (2010). **Analysis of freeway weaving sections. Final report.** NCHRP Project 3-75. Transportation Research Institute, Polytechnic University, Brooklyn, N.Y.
- ROESS, R. P. (2011) **Speed-Flow Curves for Freeways in the HCM: A Historical Perspective.** In: 90th Annual Meeting of the TRB, Washington, DC, EUA.
- ROESS, P. R.; PRASS, E. S.; MCSHANE, W. R. (2011). **Traffic Engineering.** 4ª Edição, Editora Pearson.
- SALIBY, E. (1989). **Repensando a Simulação: Uma Amostragem Descritiva.** Ed. Atlas. Coleção Coppead de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SETTI, J. R. (2009). **Highway Capacity Manual ou Manual de Capacidade Viária?** In: Anais do 6º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões – CBR&C, Florianópolis, SC, 11 p.
- SUMO. **Simulation of Urban Mobility.** Get Started. Disponível em: <<http://sumo.sourceforge.net/>>. Acesso em: 14 ago. 2013.
- SIDDIQUE, A. J.; KHAN, A. M. (2006). **Microscopic Simulation Approach to Capacity Analysis of Bus Rapid Transit Corridors.** Journal of Public Transportation, v. 9, n. 3, p. 181-200.
- TOLEDO, T; KOUTSOPOULOS, H. N. (2004) **Statistical Validation of Traffic Simulation Models.** In Transportation Research Record:

Journal of the Transportation Research Board, No. 1876, TRB, National Research Council, Washington, D.C. EUA.

TURLEY, C. **Calibration Procedure for a Microscopic Traffic Simulation Model**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Brigham Young University. Utah, 2007.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD - TRB (1985, 1992, 1994, 1997, 2000). **User's Guide**. Highway Capacity Manual, Washington, D.C. EUA.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD - TRB (2010). **Highway Capacity Manual 2010**. National Research Council, Washington, D.C, EUA.

TSS – TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS (2012). **Aimsun7 Dynamic Simulators User's Manual**. Barcelona, España.

TSS – TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS (2013). **Aimsun8 Dynamic Simulators User's Manual**. Barcelona, España.

USDOT (2005). **Types of Traffic Analysis Tools**. (USDOT) United States Department of Transportation:
http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysisistools/type_tools.htm.

VAN AERDE, M. E YAGAR, S. (1984). **Capacity Speed, and Platooning Vehicle Equivalents for Two-Lane Rural Highways**. Transportation Research Record, v. 615, p. 58-67.

VILARINHO, C.; TAVARES, J. L. (2012). **Traffic Model Calibration: A Sensitivity Analysis**. University of Porto, Portugal. Proceedings of 15th Meeting of the EURO Working Group on Transportation.

VISSIM. **VisSim User's Guide Version 8.0**. By Visual Solutions, Inc. 487 Groton Road Westford, MA 01886, 2010. Disponível em:
 <http://www.vissim.com/downloads/doc/VisSim_UGv80.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2014.

WANG, Y.; PREVEDOUROS, P. D (1996). **Synopsis of Traffic Simulation Models**. Compendium of Papers.